



UNIVERSIDAD **NACIONAL** DE COLOMBIA

Evaluación de variabilidad de las manchas melánicas del bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) en la cuenca del Magdalena

Nadya Libertad Chaves Aguilar

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá, Colombia
2017



Evaluación de variabilidad de las manchas melánicas del bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) en la cuenca del Magdalena

Nadya Libertad Chaves Aguilar

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Ciencias Biología

Director:

Ph.D. José Iván Mojica Corzo

Línea de investigación:

Diversidad y ecología de peces dulceacuícolas neotropicales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Biología

Bogotá, Colombia

2017

Dedicatoria

A mi familia...

Orlado, Aydée, Iris y Copo de Nieve

Este trabajo es producto de mis ganas de investigar, indagar y conocer el mundo del cual hago parte. Estos impulsos son una parte de lo que soy y se reflejan en este trabajo.

De pequeña observé con respeto y admiración al enorme y espléndido bagre que luchaba con el pescador, este hombre curtido e inmerso en el Magdalena, se aventuraba temerariamente para así ayudar a su familia.

Gran parte de mis impulsos tienen comienzo con mis experiencias junto a mi familia. ¡Gracias! por hacer parte de dichas aventuras, guiándome y animándome a vivir con libertad y esperanza; por despertar en mí un espíritu curioso acerca de la naturaleza y los únicos y preciosos seres que viven en ella; y por aquellos momentos de enseñanzas que calmaron en mí el temor y me enseñaron a revelar las innumerables dudas, alentándome a iniciar nuevas aventuras.

La naturaleza no podría engendrar nada nuevo, si la obligase a conservar lo viejo. Las formas son infinitas, pero la materia no, y es forzoso fundir el bronce de las estatuas pasadas para hacer las futuras. Por eso, si los ancianos no murieran, los niños cesarían de nacer. Por eso la muerte mantiene el amor sobre la Tierra.

-Rafael Barrett-

Agradecimientos y Reconocimientos

Esta investigación fue realizada gracias a la colaboración indispensable de personas e instituciones a quienes quiero extender un reconocimiento de una manera cordial y respetuosa.

Por su extraordinaria ayuda y guía durante el proceso de investigación

Ph.D Iván Mojica: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia
Ph.D Francisco Gómez: Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia
Ph.D Clara Orozco: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia

Por su colaboración y aportes del material fotográfico y bibliográfico

M.Sc Mauricio Valderrama: Fundación Humedales
M.Sc Sandra Hernández Barrero: Fundación Humedales

Por su financiación y apoyo económico para que pudiera llevar a cabo la maestría

La Fundación Juan Pablo Gutierrez Cáceres

Por su aporte en el desarrollo de la automatización de la caracterización de las manchas

Gabriel Lozano Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia
Diego Hernandez Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia

Por su apoyo y aportes en el desarrollo escrito de este trabajo de investigación

Lcda. Aydée Aguilar
Ph.D. Orlando Chaves
MBA. Ernesto Pacheco

Resumen

El género *Pseudoplatystoma* agrupa las especies de los grandes bagres rayados suramericanos, que habitan desde el río de la Plata en Argentina hasta el norte de Colombia. El bagre rayado del Magdalena (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) es una de las especies dentro de este género que es endémica de Colombia, con distribución restringida a la cuenca de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Ha sido una especie ligada a un acervo gastronómico cultural e históricamente sometida a una fuerte presión pesquera, al punto que sus poblaciones han declinado sustancialmente y en el 2014 fue incluida por el Ministerio del Medio Ambiente en la lista de especies amenazadas del país, bajo la categoría de peligro crítico. La especie puede distinguirse de sus congéneres por su patrón de coloración, con manchas melánicas, que se extienden desde el dorso hasta la parte media del cuerpo cerca de la línea lateral, estas manchas o parches melánicos discretos son un rasgo taxonómico enigmático que define la especie.

En este trabajo se expone el proceso de análisis de la variabilidad de las manchas melánicas en esta especie de bagre, centrándose en la observación de los parches melánicos discretos en bagres fotografiados durante las faenas de pesca artesanal y que provienen de los ríos San Jorge, Nechí y Magdalena en: Magangué, Barrancabermeja y La Dorada. Para esto se hizo la revisión bibliográfica relacionada, se analizaron las fotografías y se procesó la información cuantitativa a partir de la información cualitativa contenida en las manchas. Con el propósito de comparar las variaciones detectables en la cantidad y forma de los parches melánicos discretos en los ejemplares estudiados y de esta forma poder evaluar si existen algunas diferencias que pueden ser atribuibles al sexo (macho/hembra) y/o al lugar de captura.

Los resultados obtenidos mediante un análisis de las fotografías, detectaron los patrones de coloración conformados por lunares y barras atribuibles al sexo y al lugar de captura; sin embargo, debido a las limitaciones en el muestreo y caracterización de las manchas no es posible realizar una identificación clara del sexo o lugar con base en dicho patrón. Existe una relación en cuanto al tamaño y el número de manchas según su forma, además de la diferencia entre sexos y los lugares de captura; sin embargo, las diferencias deben ser analizadas con más información acerca de las manchas, esto implica el desarrollo del diseño metodológico para la caracterización automática de los parches melánicos discretos en la especie. La investigación acerca del patrón de manchas melánicas posee un potencial uso como herramienta para la foto-identificación de los ejemplares y responde a la necesidad de desarrollar propuestas para la obtención de información, la toma decisiones informadas y el desarrollo de estudios centrados en la formulación de planes en el usos sostenible de la especie como un recurso.

Palabras Clave

Pseudoplatystoma magdaleniatum, manchas melánicas, sobrepesca, río Magdalena y Foto-identificación.

Abstract

The genus *Pseudoplatystoma* groups the species of the great South American striped catfishes, which live from the river of the Silver in Argentina to the north of Colombia. The striped catfish of the Magdalena (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) is a species within this genus that is endemic to Colombia, with a restricted distribution to the Magdalena's basin, Cauca and San Jorge rivers. It has been a species linked to a cultural gastronomic heritage and historically subjected to a strong fishing pressure, to the point that its populations have declined substantially and in 2014 was included by the Ministry of the Environment in the list of threatened species of the country, under the category of critical danger. The species can be distinguished from its congeners by its coloring pattern, with melanic spots, which extend from the dorsum to the middle of the body near the lateral line, these spots or discrete melanic patches are an enigmatic taxonomic trait that defines the species.

This work presents the process of analysis of the variability of melanic spots in this species of catfish, focusing on the observation of discrete melanic patches in catfish photographed during artisanal fishing and coming from the rivers San Jorge, Nechí and Magdalena in: Magangué, Barrancabermeja and La Dorada. For this the related bibliographic review was made, the photographs were analyzed and the quantitative information was processed from the qualitative information contained in the spots. In order to compare the detectable variations in the quantity and shape of the discrete melanic patches in the studied specimens, and therefore be able to evaluate if there are any differences that can be attributed to the sex (male / female) and / or to the capture site.

The results obtained through the analysis of the photographs, detect the coloring patterns formed by moles and bars attributable to sex and the place of capture, however, due to the limitations in the sampling and characterization of the spots it is not possible to make a clear identification of the sex or place based on the pattern. There is a relation between the size and number of spots according to their shape, in addition to the difference between sexes and the places of capture, however, the differences must be analyzed with more information about the spots, and this implies the development of the design in the methodology for the automatic characterization of discrete melanic patches in the species. Research on the pattern of the melanic spots has a potential use as a tool for photo-identification of the specimens and responds to the need to develop several proposals for obtaining information, making informed decisions and developing studies focused on the plans in the sustainable uses for the species as a resource.

Keywords

Pseudoplatystoma magdaleniatum, melanin spots, overfishing, Magdalena river and Photo-identification.

Contenido

Dedicatoria	III
Agradecimientos y Reconocimientos	IV
Resumen	V
Palabras Clave	V
Abstract	VI
Keywords	VI
Contenido	VII
Lista de símbolos	9
Lista de unidades	9
Lista de abreviaturas y acrónimos	9
Lista de índices	10
Lista de tablas	10
Lista de figuras	12
Lista de ecuaciones	13
Introducción	14
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
Marco Teórico-Referencial-Conceptual	17
Las características de <i>P. magdaleniatum</i>	17
Aspectos ecológicos del género y de la familia	18
El patrón de manchas melánicas de la ictiofauna	19
Foto-identificación de la ictiofauna	20
Estado del arte	21

La taxonomía de <i>P. magdaleniatum</i>	21
Estado poblacional de <i>P. magdaleniatum</i>	22
Planes de manejo y normatividad para <i>P. magdaleniatum</i>	23
Estudios del patrón de manchas melánicas	24
Foto-identificación de peces	25
Área de Estudio	26
Método	29
La adquisición y administración de las imágenes	29
La selección de las imágenes	30
El análisis de las imágenes	30
El procesamiento de las imágenes y la información cualitativa	30
Análisis de los resultados	32
Resultados	34
Análisis de la longitud estándar y el efecto del tamaño	40
Análisis de las manchas y el sexo.....	52
Análisis de las manchas y el lugar de estudio	58
Análisis de las manchas y el período hidrológico.....	67
Protocolos para la identificación del patrón de machas.....	71
Discusión	72
Conclusiones	75
Bibliografía	76

Lista de símbolos

Símbolo	Término
♀	Hembra
♂	Macho
%	Porcentaje
<	Menor a
≥	Mayor o igual a
≤	Menor o igual a
\bar{X}	Media
s	Desviación Estándar
\bar{x}	Mediana

Lista de unidades

Unidad	Término
ton	Toneladas
cm	Centímetros
km	Kilómetros
km ²	Kilómetros cuadrados
msnm	Metros sobre nivel del mar

Lista de abreviaturas y acrónimos

Abreviatura	Término
EN	Siglas en inglés "Endangered" o en peligro de extinción
COFI	Comité de Pesca de la FAO
FAO	Siglas en inglés "Food and Agriculture Organization of the United Nations"
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
PIB	Producto Interno Bruto
EEM	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
PROCER	Programa de Conservación de Especies En Riesgo
INDERENA	Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente
INPA	Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura
TMC	Talla Mínima de Captura
LE	Longitud estándar
MRC-SC	Modelo Ecológico Conceptual del sistema de servicios ecosistémico
RP	Río Protegido
CV	Coefficiente de variación
ER	Error Estándar
IC	Intervalo de confianza
CVM	Corporación autónoma regional de los valles del Magdalena y del Sinú.
LSD	Siglas en inglés "Least significant difference" o menor diferencia significativa

Lista de índices

Símbolo	Termino
Ni	Número de individuos
N	Tamaño de la muestra

Lista de tablas

Tabla 1: Estratificación de la cuenca Magdalénica.	27
Tabla 2: Variables para la comparación y evaluación de los datos obtenidos.	32
Tabla 3: Definición y caracterización de las manchas melánicas en <i>P. magdaleniatum</i>	34
Tabla 4: Número de ejemplares registrados.	35
Tabla 5: Código del período y ciclo hidrológico de la cuenca del Magdalena.	36
Tabla 6: Código del sexo y su símbolo.	36
Tabla 7: Número de individuos con base en el sexo, lugar de estudio y período hidrológico.	37
Tabla 8: Resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas.	38
Tabla 9: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov.	38
Tabla 10: Matriz de componentes principales.	39
Tabla 11: Código de tamaño e intervalos de longitud estándar.	41
Tabla 12: Análisis de discriminantes para el código de tamaño.	42
Tabla 13: Coeficientes de la función de clasificación para el código de tamaño.	42
Tabla 14: Tabla de coeficientes estandarizados.	43
Tabla 15: Resumen estadístico de la longitud estándar.	43
Tabla 16: Prueba de Kruskal-Wallis para la longitud estándar (cm) por el lugar de estudio.	44
Tabla 17: Prueba de Kruskal-Wallis para la longitud estándar (cm) por el sexo.	44
Tabla 18: Prueba de Kruskal-Wallis para la longitud estándar (cm) por período.	44
Tabla 19: ANOVA para LET por código de lugar.	45
Tabla 20: Grupos homogéneos con base en la alineación de las X's en cada lugar de estudio.	45
Tabla 21: Diferencias entre medias de la LET por el lugar de estudio.	46
Tabla 22: ANOVA para LET por código del sexo.	46
Tabla 23: Grupos homogéneos con base en la alineación de las X's en cada sexo.	46
Tabla 24: Diferencias entre medias de la LET por el sexo.	46
Tabla 25: ANOVA para LET por período hidrológico.	47
Tabla 26: Grupos homogéneos con base en la alineación de las X's en cada período.	47
Tabla 27: Diferencias entre medias de la LET por el período hidrológico.	47
Tabla 28: Pruebas Kendall y Spearman para el número de manchas según su forma.	47
Tabla 29: Coeficientes de los modelos lineales para cada lugar de estudio.	49
Tabla 30: Análisis e varianza.	49
Tabla 31: Parámetros del modelo lineal entre LE y TM.	50
Tabla 32: Proporción de sexos y el tamaño.	52
Tabla 33: Proporción de sexo y el lugar de estudio.	52
Tabla 34: Proporción de sexos y el período hidrológico del río Magdalena.	53
Tabla 35: Resumen estadístico para la longitud estándar y el sexo.	54
Tabla 36: Prueba de U de Mann-Whitney.	54
Tabla 37: Prueba de Kruskal -Wallis del sexo y el número total de manchas según su forma.	55
Tabla 38: Clasificación del modelo de la regresión binomial sin las variables independientes.	56

Tabla 39: Variables en la ecuación de la regresión binomial.	56
Tabla 40: Pruebas ómnibus de coeficientes de modelo de la regresión binomial.	56
Tabla 41: Resumen del modelo de la regresión binomial.....	57
Tabla 42: Prueba de Hosmer y Lemeshow.	57
Tabla 43: Clasificación del modelo de regresión logística binomial.....	57
Tabla 44: Variables en la ecuación del modelo de regresión logística binomial.	58
Tabla 45: Resumen estadístico de las variables cuantitativas según el lugar de estudio.	59
Tabla 46: Prueba de Kruskal Wallis para las variables cuantitativas según el lugar de estudio.....	60
Tabla 47: Prueba de Mood para las variables cualitativas según el lugar de estudio.	62
Tabla 48: Resumen del procesamiento de los casos de la regresión logística multinomial.	62
Tabla 49: Ajuste de los modelos en la regresión logística multinomial.	63
Tabla 50: Bondad de ajuste del modelo en la regresión logística multinomial.	63
Tabla 51: Pseudo R cuadrado para la regresión logística multinomial.	63
Tabla 52: Pruebas de la razón de verosimilitud.....	64
Tabla 53: Estimaciones de parámetro en la regresión logística multinomial.	64
Tabla 54: Clasificación del modelo de regresión logística multinomial.	66
Tabla 55: Resumen estadístico del Período hidrológico del Magdalena.	68
Tabla 56: Prueba de Kruskal-Wallis para el período hidrológico.	69
Tabla 57: Normatividades Reguladoras de la pesca de <i>P. magdaleniatum</i>	85
Tabla 58: Variación temporal de los niveles de agua del río Magdalena (IDEAM 2016).....	86
Tabla 59: Tabulación de frecuencias para la longitud estándar estimada (LE).	88
Tabla 60: Coeficientes sin estandarizar de la función discriminante para el tamaño.....	90
Tabla 61: Clasificación del análisis de discriminantes para el código de tamaño.	90
Tabla 62: Centroides de Grupo para el código del tamaño.	90
Tabla 63: Prueba de normalidad para la variable transformada de la longitud estándar.....	90
Tabla 64: Variables que no se encuentran en la ecuación del modelo.....	91
Tabla 65: Tabla de contingencia para la prueba de Hosmer y Lemeshow.	91
Tabla 66: Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas.	92
Tabla 67: Resultados de la prueba M de Box.....	92
Tabla 68: Variable que no cumple los criterios de tolerancia.	92
Tabla 69: Resumen de funciones discriminantes canónicas y autovalores.....	92
Tabla 70: Valores de Lamda de Wilks	92
Tabla 71: Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados.....	92
Tabla 72: Matriz de estructuras.....	92
Tabla 73: Coeficientes de la función discriminante canónica.....	92
Tabla 74: Funciones en centroides de grupo.....	92
Tabla 75: Tabla resumen del proceso de clasificación.	93
Tabla 76: Probabilidades previas para grupos.	93
Tabla 77: Coeficientes de función de clasificación.....	93
Tabla 78: Resultado de la clasificación.....	94
Tabla 79: Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas.	94
Tabla 80: Resultados de la prueba.....	94
Tabla 81: Variables que faltan en la prueba de tolerancia.....	94
Tabla 82: Resumen de funciones discriminantes canónicas y Autovalores.	94
Tabla 83: Lambda de Wilks.....	94

Tabla 84: Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados.	94
Tabla 85: Matriz de estructuras.....	95
Tabla 86: Coeficientes de la función discriminante canónica.....	95
Tabla 87: Funciones en centroides de grupo.....	95
Tabla 88: Resumen de proceso de clasificación.....	95
Tabla 89: Probabilidades previas para grupos.....	95
Tabla 90: Coeficientes de función de clasificación.....	95
Tabla 91: Resultados de la clasificación ^c	96
Tabla 92: Ajuste de los modelo.....	96
Tabla 93: Bondad de ajustado.....	96
Tabla 94: Pseudo R cuadrado.....	96
Tabla 95: Prueba de la razón de verosimilitud.....	96
Tabla 96: Estimaciones de parámetro en la regresión logística multinomial de los lugares	97
Tabla 97: Clasificación	98
Tabla 98: Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas	99
Tabla 99: Resultados de pruebas	99
Tabla 100: Variables que fallan la prueba de tolerancia	99
Tabla 101: Funciones discriminantes canónicas y autovalores	99
Tabla 102: Lambda de Wilks.....	99
Tabla 103: Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados	99
Tabla 104: Matriz de estructuras.....	99
Tabla 105: Coeficientes de la función discriminante canónica.....	99
Tabla 106: Funciones en centroides de grupo.....	99
Tabla 107: Resumen de proceso de clasificación.....	100
Tabla 108: Probabilidades previas para grupos.....	100
Tabla 109: Coeficientes de función.....	100
Tabla 110: Resultados de clasificación	100

Lista de figuras

Figura 1: Holotipo, <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	18
Figura 2: Suspensorio de <i>P. magdaleniatum</i>	18
Figura 3: Aparato branquial y hueso ceratobranquial de <i>P. fasciatum</i>	21
Figura 4: Capturas anuales de <i>P. magdaleniatum</i> en el Magdalena (1977-2009)	22
Figura 5: Mapa de los sitios de estudio o captura ubicados a lo largo de río Magdalena.	27
Figura 6: Distribución del nivel de agua del río Magdalena (2006-2014)	28
Figura 7: Método empleado para la evaluación de variabilidad de las manchas melánicas.	29
Figura 8: Segmentación manual del ejemplar y las manchas en <i>P. magdaleniatum</i>	31
Figura 9: Esquema de la segmentación de manchas y la longitud estándar.....	32
Figura 10: Esquema de manchas según su forma.....	32
Figura 11: Número de individuos y su porcentaje.....	37
Figura 12: Grafica de los pesos de componentes.....	40
Figura 13: Diagrama de dispersión de los componentes principales.....	40
Figura 14: Histograma de frecuencia de la longitud estándar.....	41
Figura 15: Gráfica de funciones discriminantes para el tamaño.	42
Figura 16: Gráficos de medianas de la longitud estándar, el lugar, el sexo y el período.....	45
Figura 17: Gráfico de dispersión X, Y entre la longitud y el número de manchas.	48

Figura 18: Gráfico del modelo ajustado entre la longitud y el número de manchas	51
Figura 19: Proporción de sexo y el tamaño.	52
Figura 20: Proporción de sexo y el lugar de estudio.	53
Figura 21: Proporción de sexos y el período hidrológico	53
Figura 22: Gráfico de medianas X, Y entre el sexo y el número de manchas	56
Figura 23: Porcentaje de individuos en cada lugar de estudio.....	58
Figura 24: Diagrama de dispersión del número de manchas según el lugar de estudio.....	59
Figura 25: Gráfico de medianas de la clase de manchas según el lugar.	61
Figura 26: Histograma de frecuencia absoluta del período hidrológico	68
Figura 27: Gráfico de medianas del número de manchas según período hidrológico	70
Figura 28: Comparación entre hembra y macho en <i>P. magdaleniatum</i>	75
Figura 29: Perfil esquemático del río Magdalena.....	86
Figura 30: Distribución temporal del nivel del agua (2004-2005).	86
Figura 31: Gráfico de probabilidad normal en la longitud y las manchas:.....	87
Figura 32: Histograma de frecuencias relativas de la longitud estándar según el lugar.	89
Figura 33: Histograma de frecuencias relativas de la longitud estándar según el sexo	89
Figura 34: Histograma de frecuencias relativas de la longitud estándar según el período.	89
Figura 35: Gráfica de Fisher de la prueba ANOVA para comparar la longitud estándar	90
Figura 36: Gráfico de la función logística para el sexo.....	91
Figura 37: Gráfico de grupos separados en el sexo	93
Figura 38: Función discriminante canónica según el lugar	95
Figura 39: Función discriminante canónica según el período	101

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Primer componente	39
Ecuación 2: Función de clasificación del primer nivel del código de tamaño	42
Ecuación 3: Transformación de LE	45
Ecuación 4: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en La Dorada.....	49
Ecuación 5: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Barrancabermeja	49
Ecuación 6: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Magangué.....	49
Ecuación 7: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Nechí	49
Ecuación 8: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Cicuco.....	49
Ecuación 9: Modelo de regresión logística binomial para predecir sexo	58
Ecuación 10: Modelo de regresión logística multinomial para Barrancabermeja	67
Ecuación 11: Modelo de regresión logística multinomial para Magangué	67
Ecuación 12: Modelo de regresión logística multinomial para Nechí	67
Ecuación 13: Probabilidad de que el ejemplar sea de Barrancabermeja	67
Ecuación 14: Probabilidad de que el ejemplar sea de Magangué.....	67
Ecuación 15: Probabilidad de que el ejemplar sea de Nechí	67
Ecuación 16: Probabilidad de que el ejemplar sea de Cicuco	67

Introducción

El bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum* Buitrago-Suarez & Burr 2007) es la especie más emblemática de la cuenca del Magdalena. Fue inicialmente clasificada como *Pseudoplatystoma fasciatum*, y en el 2007 fue descrita como una especie diferente y endémica del río Magdalena. Históricamente ha sido una especie muy apetecida en platos gastronómico autóctonos, debido a su gran tamaño (hasta 1.5 m de longitud estándar); sin embargo, la alta degradación de su hábitat además de la fuerte presión pesquera han llevado a esta especie a una crítica declinación poblacional, al punto de haber sido categorizada recientemente en el máximo nivel de amenaza (Mojica et al. 2012). La UICN reportó a *P. magdaleniatum* en la categoría: en peligro de extinción (EN-A2d) (Mojica et al. 2002, Galvis & Mojica 2007, Mojica et al. 2016) y Mojica et al. (2012) la incluyó en el libro rojo de peces de agua dulce de Colombia, bajo la categoría: en peligro crítico, en el Magdalena (CR-A1d).

El río Magdalena, principal afluente colombiano y hogar del bagre rayado, atraviesa gran parte de la región interandina del país (Galvis & Mojica 2007). García (2011) señaló que la cuenca Magdalena-Cauca constituye el eje principal de desarrollo social del país, permitiendo satisfacer las necesidades de más del 77% de la población colombiana y aportando el 85% del PIB, ya que es una fuente de recursos explotados por múltiples actividades económicas como: la producción de energía –hidroeléctricas–, la explotación pesquera-agropecuaria, la extracción de petróleo o minera, como vía del transporte naviero y como abastecedor hídrico de más del 80% de las cabeceras municipales.

El desarrollo social ha permitido el aumento del tamaño poblacional humano, que se ha concentrado en centros urbanos (Restrepo 2005), aunado al alza en la demanda de recursos que incluyen al bagre. Sin embargo, este desarrollo no ha sido sostenible y ha generado impactos negativos sobre los recursos naturales, la tierra y el medio ambiente. Estos impactos se reflejan en los diferentes resultados de los estudios que se han desarrollado en la cuenca (Naranjo 1998, Castaño-Urbe 2002, Chalarca et al. 2005, Tobasura 2006, Vargas-Ramírez et al. 2007, Benjumea 2008, Flórez-Brand et al. 2008). La pesca en el río Magdalena es importante a nivel social y económico, es mayoritariamente artesanal y varía en la intensidad de extracción. Gualdrón (2007) señaló la importancia de la pesca como fuente de empleo y de seguridad alimentaria para los pescadores, quienes integran un sector económico representativo de la población ribereña. El periodo de mayor esfuerzo de captura responde a las migraciones de peces que buscan desovar durante la temporada seca (ausencia de lluvias). Parte de la población del bagre migra siguiendo a sus presas, siendo

entonces una migración que obedece a comportamientos reproductivos y tróficos (Jiménez-Segura et al. 2009). En la temporada seca se obtiene cerca del 60% del total de capturas de la cuenca (Galvis & Mojica 2007). En la parte baja de la cuenca del Magdalena existe un exceso de pescadores y ante la ausencia de alternativas laborales para la población, se presenta una sobrepesca desproporcionada (Galvis & Mojica 2007). El censo de pescadores de la parte baja de la cuenca (CORMAGDALENA 2007) reportó 25000 pescadores y la Fundación Humedales (2010) registró para el sector de la Isla de Mompox 2400 pescadores. Es posible reconocer los valores de los servicios ecosistémicos que el río Magdalena ofrece y que en el caso de la pesca corresponden a los servicios de aprovisionamiento (Fundación Humedales 2010). En la evaluación de los ecosistemas del milenio (EEM 2005) se definen los servicios de “provisión” como los productos obtenidos de los ecosistemas, tales como: alimentos, agua, combustible, medicinas entre otros. Los impactos negativos en el río han ocasionado la disminución poblacional de *P. magdaleniatum*, visualizada a través de la reducción exponencial del aporte (toneladas) en la producción total de la pesca y la reducción en las tallas medias de captura de la especie (Galvis & Mojica 2007, Hernández 2008). La vulnerabilidad observada del bagre es un indicador del decline del servicio de aprovisionamiento. La desaparición del bagre implicaría: la alteración de la estructura trófica de los niveles tróficos inferiores, la pérdida de biodiversidad en la cuenca y la disminución del bienestar de las comunidades pesqueras ribereñas.

Para el manejo sostenible de *P. magdaleniatum* y los servicios que provee, se requiere de información basada en los hechos reales que permita tomar decisiones informadas, esto implica la actualización de la reglamentación pesquera asociada a la ordenación del bagre. La actualización se enmarca, a nivel nacional, en los planes de ordenación definidos en el estatuto de pesca (Ley 13 de 1991 como planes de ordenamiento pesquero); a nivel regional, con el plan de manejo de la cuenca del río Magdalena (a CORMAGDALENA 2013) y con las estrategias de ordenamiento pesquero integral en el Medio Magdalena formuladas por INPA (Muñoz et al. 1997). En 1978 el INDERENA creó la resolución No. 0595 modificada por la resolución 88 de 1987, donde estableció la talla mínima de captura del bagre en 80 cm de longitud estándar (LE) (AUNAP 2013). Luego, el INPA formuló el acuerdo 16 de 1997, modificado por los acuerdos 242 y 09 de 1996, donde se establece la veda de la pesca anual de *P. magdaleniatum* entre 1-30 de mayo y entre el 15 de septiembre al 15 de octubre (Hernández 2008, Mojica et al. 2012).

La reglamentación para la pesca del bagre del río Magdalena es insuficiente y en la realidad no garantiza el manejo sostenible de la especie. La necesidad de información para la toma de decisiones y su control práctico en los mercados nacionales, implica la

realización de un mayor número de estudios. Una alternativa innovadora y útil es el estudio del patrón de manchas expresado por *P. magdaleniatum*.

Los patrones de manchas melánicas obedecen a aspectos biológicos importantes de los peces (como el comportamiento, la fisiología, y los efectos del medio ambiente) que han sido estudiados en especies con interés ornamental o ecológico, en ambientes artificiales (acuarios) (Baerends 1976, Cheney et al. 2008, Price et al. 2008, Korzan et al. 2008, Gómez-Laplaza 2009, Rodrigues et al. 2009, Kelley et al. 2012) o mediante el análisis de fotografías tomadas de individuos en su entorno natural (Kelley et al. 2013).

Aparte de los estudios de taxonomía comparada llevado a cabo por el descriptor de *P. magdaleniatum*, Buitrago-Suárez & Burr (2007) y los señalamientos de la presencia de manchas como un rasgo taxonómico descriptor de la especie (Millán 2003, Hernández 2008, Jiménez-Segura et al. 2009, Barragán de los ríos 2009, Mojica et al. 2012), no se ha encontrado información previa que profundicen sobre las implicaciones que tienen las manchas melánicas expresadas por *P. magdaleniatum* o que señale la existencia de un patrón y aborde las variaciones dentro del patrón a través del estudio de registros fotográficos. Tampoco existen aportes en cuanto a la propuesta de herramientas metodológicas aplicables a *P. magdaleniatum*., objetivos planteados en esta investigación.

Hernández (2008) sugirió que para *P. magdaleniatum* existe una población diferenciada morfo-métricamente en la zona de Honda. Con base en observaciones de ejemplares capturados en el río Magdalena (en Barrancabermeja, La Dorada, Magangué), el río Nechí, y el río San Jorge, se ha identificado 5 tipos de manchas (lunares, barras, rayas y bucles); sin embargo, el número de manchas varía entre individuos, entre lugares de captura y entre sexos. El análisis de las variaciones en el número de cada tipo de manchas muestra una relación con el tamaño, sexo y procedencia del ejemplar, esto representa una oportunidad para desarrollar una herramienta que permita la obtención de información de la especie en el entorno natural y en los mercados locales donde se comercializa, siendo de uso vital para las autoridades pesqueras.

Las acciones de conservación dependen del grado de amenaza, del interés social y de los costos de inversión (PROCER 2007). *P. magdaleniatum* reúne características que le permiten ser una especie paraguas (especie que al ser protegida permite de forma indirecta la protección de otras especies) debido a: su factible manejo y recuperación, incidencia en la protección indirecta de otras especies y sus hábitats. La conservación del bagre ofrece la oportunidad de minimizar los costos de inversión teniendo en cuenta su valor ecosistémico y el alto interés que despierta y es de carácter: científico (declarada en peligro crítico), cultural y económico para la sociedad colombiana.

Esta investigación pretendió desarrollar una metodología para detectar el patrón de manchas de la especie *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, se analizó un banco de registros fotográficos de ejemplares, evaluando las variaciones encontradas en la cantidad y forma de las manchas melánicas que conforman el fenotipo de la especie, atribuibles al sexo y su procedencia en lugares de la cuenca del río Magdalena. Los registros fotográficos fueron tomados en condiciones no estandarizadas y en el análisis no se modeló el patrón de manchas. Se obtuvo resultados en donde se observaron diferencias entre el sexo y los lugares atribuibles al número de manchas según su forma, lo que indica que existe un potencial uso del patrón de manchas como una herramienta para establecer el lugar de procedencia y el sexo de ejemplares que se encuentran en los mercados locales y que son comercializados. Dichas herramientas permitirían un control en la pesca y comercio de la especie, contribuyendo en el desarrollo sostenible de la actividad pesquera a nivel nacional.

Objetivo general

Evaluar las manchas melánicas en ejemplares de *Pseudoplatystoma magdaleniatum* en la parte media y baja de la cuenca del Magdalena, para establecer su potencial uso en la identificación del sexo y lugar de captura de los ejemplares que son comercializados.

Objetivos específicos

1. Diseñar una metodología para analizar las variaciones de las manchas melánicas de los ejemplares capturados y registrados fotográficamente de *P. magdaleniatum* en la parte media y baja de la cuenca del Magdalena.
2. Reconocer el patrón de manchas melánicas en *P. Magdaleniatum* atribuibles al sexo y lugar de captura, en términos de la cantidad y forma de las manchas melánicas.
3. Diseñar protocolos para la determinación e identificación del patrón de manchas melánicas atribuibles a los lugares y sexo de ejemplares de *P. magdaleniatum*.

Marco Teórico-Referencial-Conceptual

Las características de *P. magdaleniatum*

Pseudoplatystoma magdaleniatum, conocido como el Bagre o Pintadillo Rayado del Magdalena, es endémico del río Magdalena, sus poblaciones están aisladas por el levantamiento de los Andes. Presenta variaciones en su anatomía y coloración que anteceden a la orogénesis de la Cordillera Oriental Andina (Buitrago-Suárez 2006). Es la especie de mayor tamaño en la cuenca y ocupa una posición trófica superior entre los peces carnívoros. Tiene dos picos reproductivos y realiza migraciones estacionales aguas arriba

(Subiendas) del río (Gallo & Díaz-Sarmiento 2003, Jiménez-Segura et al. 2010). Su migración inicia entre los meses de diciembre y enero, que corresponden al comienzo de la estación seca en Colombia; esta migración es ocasionada principalmente por el descenso en el nivel de las aguas de los raudales, ciénagas y áreas inundables que constituyen la cuenca del Magdalena (León 2003, Jiménez-Segura et al. 2009).

La especie se distingue por tener: rayos procurrentes en los lóbulos dorsal y ventral de la aleta caudal con ramas fusionadas; zonas sin manchas alrededor de los rayos de la aleta dorsal (Figura 1); una región posterior del metapterigoides amplia, que forma una depresión en el margen superior del suspensorio (Figura 2) (Buitrago-Suárez & Burr 2007).



Figura 1: Holotipo, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, escala 15 cm, LE de 421.5 mm, CAS 19165. (Buitrago-Suárez & Burr 2007).



Figura 2: Suspensorio de *P. magdaleniatum* (Buitrago-Suárez & Burr 2007).

Tiene: barras verticales anchas y oscuras a los lados del cuerpo que se extienden hasta la línea lateral y se conectan dorsalmente con las del lado opuesto; la zona de la nuca no posee bucles; las aletas pectorales no poseen manchas en las zonas ventral y dorsal; no posee delimitación evidente entre las zonas pálidas del vientre y las zonas grisáceas del dorso (Buitrago-Suárez & Burr 2007, Hernández 2008). La cabeza es deprimida y tiene un proceso occipital largo que se une con las placas predorsales de la aleta dorsal y una larga fontanela en la mediación del cráneo (Buitrago-Suárez 2006, Hernández 2008).

Aspectos ecológicos del género y de la familia

Las especies de la familia Pimelodidae y del género *Pseudoplatystoma* son bagres neotropicales cuya pigmentación consiste en bandas verticales (barras), bandas reticuladas (bucles) y manchas circulares (lunares), oscuras (Buitrago-Suárez 2006).

Dentro del género se encuentran tres especies ampliamente reconocidas como *P. fasciatum*, *P. tigrinum* y *P. corruscans*, además de otras cinco especies reconocidas por Buitrago-Suárez & Burr en el 2007: *P. punctifer*, *P. reticulatum*, *P. orinocoense*, *P. metaense* y *P. magdaleniatum*. Las ocho especies conforman un grupo monofilético con dos clados soportados por características anatómicas esqueléticas y musculares (Buitrago-Suárez & Burr 2007).

Las especies de este género son ictiófagas de hábitos nocturnos, sin dientes cortantes, engullen enteras a las presas (a través de una amplia abertura bucal); durante el día permanecen en el fondo del río (Flores-Nava & Brown 2009). Jiménez-Segura et al. (2009) señalaron que algunas migraciones de las especies de Pimelodidae son provocadas por la migración de sus presas, como son el caso de algunos Characiformes que también participan en las migraciones. Para *P. magdaleniatum* existen dos componentes importantes dentro de su migración: una de carácter reproductivo, donde los individuos migran y se reproducen; y otra de carácter trófico donde los individuos migran, pero no se reproducen debido al ritmo reproductivo endógeno propio (Jiménez-Segura et al. 2009).

El patrón de manchas melánicas de la ictiofauna

El patrón de coloración en los peces es una señal multi-compuesta por pigmentos, que a su vez conforman parches de colores estructurados. Estos parches pueden ser utilizados para la comunicación inter o intra-específica y pueden ser exhibidos de forma temporal o permanente en una determinada especie (Price et al. 2008). Price et al. (2008) indicaron que una clase de patrón es de tonalidades negras o marrones -basadas en el pigmento melanina- que son generalmente parches efímeros o conspicuos.

Alan Turing propuso un sistema en el que los morfo-genes se difundían y reaccionaban entre sí produciendo patrones estables en el espacio (Barrio et al. 2009). El pez tiene un mecanismo de información innato que procesa, evalúa y filtra los estímulos recibidos del ambiente a través de receptores sensoriales y en respuesta el organismo despliega diferentes comportamientos (Lorenz 1937). La respuesta obedece a: la intensidad, la sensibilidad y la naturaleza del estímulo; que a través de la evolución se ha establecido de manera particular (Baerends 1976).

Los peces son un grupo de gran diversidad en cuanto a patrones de coloración (en condiciones temporales y/o permanentes); su piel posee cromatóforos (células con pigmentos) que son controlados por la vía neurocrina permitiendo el cambio de color en la piel de manera instantánea en algunas especies (Rodrigues et al. 2009). Los patrones de coloración tienen una gran variedad de funciones como: camuflaje, advertencias; la agregación, selección de pareja entre otros y en algunos patrones se encuentran relaciones con las radiaciones adaptativas y la especiación (Orton et al. 1987, Parichy 2003, Quigley 2005, Hoekstra 2006, Miyazawa et al. 2010).

Rodrigues et al. (2009) han estudiado el cambio del patrón de coloración en *Apistogramma hippolytae* (Perciforme) describiendo seis coloraciones corporales relacionados con siete tipos de actividad comportamental (por ejemplo: el forrajeo, descanso y los despliegues agonísticos); otro caso de estudio es *Astatotilapia burtoni* (Cíclido) cuyo patrón de color

corporal puede aumentar el camuflaje, mejorar la comunicación y conferir ventajas reproductivas (Korzan et al. 2008). Existen muchas especies de peces que presentan una variación en los patrones de coloración, no sólo entre individuos de distintas poblaciones sino también entre una misma población, e incluso se han descrito diferencias de coloración de un mismo individuo a lo largo de su vida (Orton et al. 1987, Kodric-Brown 1998, Quigley et al. 2005, Puigcerver 2007), así como según su estado fisiológico (Burton 2002). Esta variabilidad complejiza los estudios enfocados en el patrón de coloración en los peces (Barlow 1992, Bolyard & Rowland 1996, Puigcerver 2007).

Foto-identificación de la ictiofauna

Las técnicas de foto-identificación se basan en la diferenciación de organismos mediante la toma de registros fotográficos, a partir de marcas naturales o adquiridas, como los tipos de coloración y/o cicatrices que pueden llegar a ser marcas individuales (Würsig & Jefferson 1990, Borbón & Rincón 2008, Vázquez 2010). Vázquez (2010) indicó, que ésta técnica se basa en datos individuales debido a las marcas únicas de los ejemplares; dichas marcas no cambian con el tiempo y son análogas a las huellas dactilares en humanos.

Este tipo de técnica es importante porque permite el estudio de los organismos de una manera no invasiva, sin alterar el comportamiento (Würsig & Jefferson 1990, Martin-Smith 2011), resultando en una opción que busca minimizar el grado de disturbio en poblaciones que pueden ser sensibles o amenazadas (Marshall & Pierce 2012). La foto-identificación permite estimar el tamaño poblacional a través de modelos de recaptura y ayuda a determinar la dispersión, distribución y similitudes en las especies migratorias (Würsig & Jefferson 1990, Borbón & Rincón 2008, Vázquez 2010, Martin-Smith 2011). También puede aportar en las descripciones de los parámetros de la historia de vida como la edad y la madurez sexual (Würsig & Jefferson 1990).

Dependiendo del objetivo de estudio la técnica puede basarse en la toma de fotografías en el medio natural o en un ambiente controlado. En ambos casos la técnica requiere de la toma de fotografías del ejemplar y de una metodología acorde que aborde la identificación de las marcas que identifican al individuo. Un ejemplo es el estudio llevado a cabo por Dala-Corte et al. (2016) en el cual compararon el nivel de eficacia para la identificación de individuos de la especie *Rineloricaria aequalicuspis*. Los registros utilizados como herramientas de identificación y referencias que conforman catálogos, permiten la posterior comparación y determinación ya sea de un individuo o de una especie (Martin-Smith 2011, Marshall & Pierce 2012). Algunos estudios que emplean la foto-identificación sugieren o emplean programas de computadora que les permite manipular las imágenes mejorando el nivel de confianza en el proceso de obtención de datos (Bolger et al. 2012).

Estado del arte

La taxonomía de *P. magdaleniatum*

Inicialmente la especie era confundida con *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus 1766). Desde el punto de vista taxonómico *P. magdaleniatum* ha sido identificada por su particular forma y ubicación en la cuenca del Magdalena. Buitrago-Suárez (2006) señaló que la ausencia de estudios taxonómicos ha ocasionado confusiones con algunas subespecies de *P. fasciatum* y *P. tigrinum*. Con el empleo de análisis de los holotipos se examinaron las diferentes especies de Siluriformes suramericanos y se reconocen 8 especies: *P. fasciatum* restringida a la región de las Guayanas, *P. punctifer* en el río Amazonas, *P. orinocoense* en la cuenca del Orinoco, *P. magdaleniatum* en la cuenca del Magdalena, *P. reticulatum* en la región Amazónica y el río Paraná, *P. corruscans* del río São Francisco, *P. tigrinum* en la cuenca del Amazonas y *P. metaenseen* en el río Orinoco.

Neto et al. (2011) mostraron, que la familia Pimelodidae, considerada las más diversificada en los Siluriformes neotropicales, comprende 29 géneros, 93 especies y dentro del género *Pseudoplatystoma* hay una diversificación cariotípica. Para el mismo año Lundberg aclaró que la monofilia del género está bien fundamentada en sinapomorfías morfológicas y datos moleculares, mostrando que *P. magdaleniatum* es un linaje de una misma línea evolutiva. Buitrago-Suárez & Burr (2007) afirmaron, que *P. magdaleniatum* está agrupada en un clado con *P. fasciatum*, *P. punctifer*, *P. orinocoense* y *P. corruscans* por poseer una fontanela rodeada por el mesetmoides y el hueso frontal y un parche de dientes que cubre la superficie dorsal del hueso ceratobranquial 5 que se extiende más de la tercera parte de la región central (Figura 3).

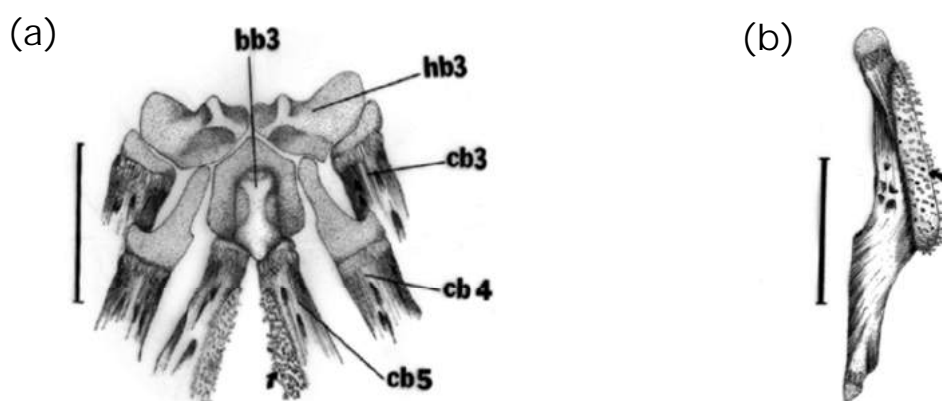


Figura 3: (a) Vista anteroventral del aparato branquial de *P. fasciatum*. bb3) basibranquial; hb3) hypobranquial; cb3) ceratobranquial (b) Vista ventral del hueso ceratobranquial de *P. fasciatum*.

Escala 1 cm. (Buitrago-Suárez & Burr 2007).

Estado poblacional de *P. magdaleniatum*

P. magdaleniatum ha sido un recurso pesquero sobreexplotado por ser una de las especies de mayor valor comercial y alta demanda en los mercados nacionales. Su importancia en los mercados fue alta en la década de los 70's, representó más del 50% de las capturas totales de subienda en la cuenca del Magdalena (Mojica et al. 2012), pero para 1988 se advirtió que la sobrepesca y degradación del hábitat natural del bagre ocasionaban el declive de la especie implicando el empobrecimiento genético y el riesgo de extinción (Zárate et al. 1988). Una de las implicaciones más importantes que conlleva la disminución poblacional de *P. magdaleniatum* es la reducción en la variabilidad genética e incremento de la endogamia (Gallo & Díaz-Sarmiento 2003).

Como se muestra en la figura 4, se ha observado una disminución en los volúmenes y tallas medias de capturas, en 1977 el aporte total de capturas en la cuenca (en toneladas) representaba el 37% pero en 1986 era de solo el 9%, con una reducción del 76% del total de aportes en capturas en solo nueve años (Mojica et al. 2012). Galvis & Mojica (2007) mostraron un decaimiento histórico de 70 mil toneladas producidas en la pesquería del Magdalena -durante 1972- a menos de 10 mil toneladas producidas en 1998.



Figura 4: Capturas anuales de *P. magdaleniatum* en la cuenca del Magdalena (1977-2009) (Mojica et al. 2012).

En 1973 se obtuvo una talla promedio de captura de 92 cm en toda la cuenca del Magdalena, pero para el 2010 dicha talla era de 42 cm en la región de Mompox. Esta disminución en las tallas tiene implicaciones serias en la supervivencia de la especie que se ha venido acentuando, al considerar que la especie alcanza su madurez en las tallas de 65 y 89 cm de longitud estándar (LE) para machos y hembras respectivamente (Mojica et al. 2012). Jiménez-Segura et al. (2009), a través de sus estudios sobre algunos aspectos biológicos del bagre rayado, mostraron que cerca del 60% de las capturas por pesca artesanal se encontraban por debajo de la talla mínima de captura que es sugerida por la norma; aunado a la disminución exponencial de la producción pesquera e inclusión de otras especies de peces con menor calidad para su explotación.

Planes de manejo y normatividad para *P. magdaleniatum*

Ante la problemática mundial por la explotación descontrolada de los recursos, COFI recomendó en 1991 la adopción de nuevos enfoques para la ordenación de la pesca y la acuicultura que comprendieran la conservación y sus aspectos medioambientales, sociales y económicos (FAO 2010).

En la actualidad, Colombia incluye dentro de su legislación los lineamientos del código elaborado por la FAO en el cual se aplican actividades de explotación pesquera con un enfoque ecosistémico y se han realizado cumbres internacionales donde se ha pactado la eliminación de prácticas de pesca destructivas y la implementación de la ordenación pesquera (FAO 2010).

La FAO (2010) definió la ordenación pesquera como el proceso integrado de recolección de información, análisis, planificación, consulta, adopción de decisiones, asignación de recursos, formación y ejecución de normas que rigen las actividades pesqueras, con el fin de asegurar la productividad de los recursos.

Existen conceptos asociados a los planes de ordenación pesquera, como el Río Protegido (RP) (Andrade 2011) y el establecimiento de áreas protegidas en humedales (Ponce de León 1999) que pueden ser aplicados a la conservación de poblaciones de bagre. Otro enfoque en la administración pesquera es la cogestión (Cochrane & Garcia 2009), en el que el diseño e implementación de políticas apropiadas para la administración de tales recursos integra el conocimiento y la comprensión de las relaciones entre las personas y los recursos de uso común.

Barreto (2011) presentó un resumen de las diversas normas que han venido reglamentando la pesca continental desde 1962 y que son mostradas en la tabla 57 en el anexo A. Una de ellas son las resoluciones 595 de 1978 y 88 de 1987 delINDERENA donde se establece la talla mínima de captura (TCM) en 80 cm de LE. Posteriormente el INPA estableció el acuerdo 16 de 1997 que modificó los acuerdos 242 y 09 de 1996; allí se estipula la veda para la pesca de *P. magdaleniatum* en la cuenca del Magdalena (Hernández 2008, Mojica et al. 2012). Con esta normatividad se buscó proteger a las especies que incluían al bagre, pues eran capturadas en mayor medida durante la época de reproducción (Hernández 2008).

Hernández-Barrero et al. (2013), en un informe en el que se analizó y valoró el estado de la conservación del bagre rayado en el río Magdalena, propusieron el modelo MEC-SE como herramienta para la comunicación, planeación y evaluación conjunta (científicos y políticos) de los servicios ecosistémicos y la identificación de los atributos biofísicos, sociales y económicos asociados a la pesquería de *P. magdaleniatum*.

Estudios del patrón de manchas melánicas

Partiendo de las manchas de los felinos hasta las manchas en los insectos, es posible observar la belleza y diversidad de patrones de manchas melánicas en los seres vivos. Los numerosos estudios que profundizan en los patrones de manchas melánicas presentes en una gran diversidad de especies, han realizado aportes importantes en cuestionamientos vinculados a: la genética, la ontogenia, la filogenia, la taxonomía, la fisiología, la ecología, la etología entre otras (Ortolani 1999, Caballero et al. 2012, Kelley 2013, Vogt 2015, Halperin et al. 2016, Martínez et al. 2016).

Las manchas permiten la identificación del área de acción, así como las estimaciones de la supervivencia y la esperanza de vida de los individuos, siempre y cuando exista un mecanismo para la re-identificación de los individuos y se adquiera información importante relacionada con el manejo de la población a gran escala (Karanth et al. 2004, Barker & Williamson 2010).

Las investigaciones realizadas en el pasado han desarrollado conceptos y registros sobre los diversos animales; un ejemplo de esto es el ratón, que en el siglo XVIII fue objeto de experimentos sobre la variación en el color del pelaje (Morse 1978). Esto ha permitido el estudio de muchos procesos biológicos fundamentales como la demostración de la herencia mendeliana en vertebrados utilizando el locus albino (Castle & Allen 1903, Wright 1917, Russell & Major 1957, Morse 1978, Hoekstra 2006).

Los diversos patrones de pigmentación de los vertebrados e invertebrados y su gran variabilidad incluyen rayas longitudinales o reticuladas, manchas circulares u ovaladas y barras transversales (Halperin et al. 2016), que aunado al gran número de especies, constituye en una vasta diversidad de patrones que representa un reto que se ha venido estudiando desde 'hace tiempo' (Thayer 1909, Cott 1940, Turing 1952, Price & Pavelka 1996, Ortolani 1999, Caro 2009) y sin embargo continúa siendo un tema de estudio intrigante (Kelley & Kelley 2014, Halperin et al. 2016).

Algunos de los estudios en los diversos grupos de invertebrados y vertebrados emplean el análisis de registros fotográficos o imágenes con el fin de obtener información cuantitativa del patrón e investigar sobre: la ecología, comportamiento y fisiología de dichas especies (Ortolani 1999, Sekimura et al. 2006, Parchem et al. 2007, Allen et al. 2010; Shevtsova et al. 2010, Ornés et al. 2014, Osterrieder et al. 2015). Otros estudios incluyen las estimaciones del tamaño poblacional (Moore et al. 2010), el crecimiento (Linnane et al. 2012), la supervivencia (Monk et al. 2011), el monitoreo de la población aunado al manejo y la conservación (Biggins et al. 2006) y la identificación de individuos (Franz & Fontana 2013), entre otros.

A partir de los estudios de Turing, en 1952, se abordó el proceso de formación de algunos patrones de manchas dentro del sistema de reacción-difusión, base para el desarrollo de investigaciones que abarcan: el crecimiento y el desarrollo (Parichy & Turner 2003), la herencia del patrón (Frankel 2002), la identificación de los individuos (García de Leaniz et al. 1994, Rosanne & Booth 2012, Dala-Corte et al. 2016), el polimorfismo del patrón (Orton et al. 1987, Martínez et al. 2016), la relación con la calidad de agua (Kawai et al. 2000), la asimetría fluctuante del patrón (Sheridan & Pomiankowski 1997) y el modelamiento (Kondo & Asai 1995, Kondo & Asai 1996, Rawls et al. 2001, Kondo 2002, Barrio et al. 2009, Metz et al. 2010) durante el crecimiento (Venkataraman et al. 2011). Barrio et al. (2009) modelaron los patrones de manchas con base en el sistema de Turing para: *P. fasciatum*, *P. tigrinum* y *P. corruscans*.

P. magdaleniatum posee un patrón de contra-coloración (counter-shading) y la presencia de parches discretos o manchas oscuras (Buitrago-Suárez & Burr 2007). Según la ley de Thayer, la contra-coloración es una forma de camuflaje en la cual el individuo posee una coloración más oscura en la parte dorsal y más pálida en la parte ventral (Thayer 1909).

Los parches discretos son caracteres taxonómicos que permiten identificar la especie, son un rasgo observable y hacen parte de la apariencia externa del organismo (Buitrago-Suárez & Burr 2007). La contra-coloración y los parches discretos hacen parte del fenotipo de la especie. Este fenotipo presenta variaciones debido a factores fisiológicos y ambientales que han sido escasamente estudiados en la especie.

Por lo tanto, estas variaciones y posibles polifenismos representan uno de los objetivos de estudio más interesantes, debido a su vinculación a información sobre la especie más emblemática del río Magdalena y por lo tanto algunas variaciones son estudiadas en este trabajo.

Foto-identificación de peces

A principios de los 70's se iniciaron diversos estudios que emplearon las marcas naturales de una gran diversidad de seres vivos para la investigación de su ecología y fisiología, dichos estudios han sido precursores de investigaciones actuales donde se emplean los registros fotográficos como herramienta principal para la obtención de información a través de métodos de identificación y vinculación a sistemas automatizados (Würsig & Jefferson 1990, Anderson et al. 2010, Vázquez 2010).

La foto-identificación se ha utilizado para el reconocimiento de individuos principalmente (Silvy et al. 2012, Monteiro et al. 2014) y es considerada como una alternativa al uso de marcaciones artificiales (metodologías que son invasivas pero necesarias para el monitoreo de poblaciones) (Mesa & Schreck 1989, Anderson et al. 2010, Rosanne & Booth 2012).

En las últimas décadas han surgido técnicas para la identificación en los peces, como el reconocimiento de imágenes. Otras técnicas son: la genética, el software informático, la hidroacústica y la morfometría; sin embargo, dichas técnicas no son amigables para los usuarios no especializados y requieren inversiones adicionales para convertirse en herramientas aplicables a nivel mundial (Mesa & Schreck 1989, Margules & Pressey 2000, Biggins et al. 2006, Speed et al. 2007, Lee 2010, Marshall & Pierce 2012, FAO 2013, Joo et al. 2013, Kühl & Burghardt 2013, Dala-Corte et al. 2016).

Las marcas externas asociadas con incidencias aleatorias (ataques de predadores, colisiones con botes entre otros) y manchas, se han empleado por los científicos con el fin de rastrear individuos de diversas especies (Würsig & Jefferson 1990, Bansemer & Bennett 2008, Marshall & Pierce 2012). Dichos rasgos son necesarios para el empleo de los sistemas asistidos por programas que han permitido identificar con éxito individuos de varias especies (Speed et al. 2007). Algunos estudios que han empleado la foto identificación en peces, emplean programas y algoritmos que permiten el procesamiento de las imágenes y el reconocimiento del patrón de manchas (Trucco et al. 2000, Bradshaw et al. 2007, Van Tienhoven 2007, Deakos et al. 2011, Merz et al. 2012, Rosanne & Booth 2012, Kelley et al. 2013, Dala-Corte et al. 2016).

El empleo de la foto-identificación por medio de la automatización aplicado para *P. magdaleniatum* se está desarrollando en paralelo a este trabajo de investigación, en dicho trabajo se emplean herramientas y teorías centradas en los sistemas de reacción-difusión propuestos por Turing (Turing 1952, Kondo & Asai 1995, Kondo & Asai 1996, Furferi & Governi 2006, Metz et al. 2010).

Área de Estudio

La cuenca del río Magdalena, tiene una superficie de 199294 km² que representa el 17% el territorio nacional colombiano, está orientado a 2°42'N y 75°25'O (IGAC 2014), posee una longitud de 1528 km y un área de drenaje de 257380 km² (b CORMAGDALENA 2013). Nace en el páramo de las Papas en el Huila a una altitud de 3685 msnm y desemboca en Bocas de Ceniza en el Mar Caribe, además recibe varios ríos tributarios (Figura 29 anexo A), dos de ellos son el Cauca y el San Jorge (Ortega 2008).

Los lugares de captura contemplan la parte media y baja de la cuenca del río Magdalena en: La Dorada, Barrancabermeja, Magangué, río Cauca en Nechí y río San Jorge en San Francisco de Loba-Cicuco (Hernández-Barrero et al. 2013, IGAC 2014). Se estratificó la cuenca (Tabla 1, Figura 5) y La Dorada no se incluye en algunos análisis por la poca cantidad de registros.

Tabla 1: Estratificación de la cuenca Magdalénica.

Región	Sub-región	Localidad	Altitud (msnm)
Río Magdalena	Cuenca media	Buena vista, La Dorada	168
Río Magdalena	Cuenca media	Barrancabermeja	80
Río Magdalena	Cuenca baja	Magangué	18
Río Cauca	Cuenca baja	Nechí	38
Río San Jorge	Cuenca baja	San Francisco de Loba, Cicuco	27

La subregión media del Magdalena inicia en Honda y se extiende hasta El Banco, en la desembocadura del río Cesar, a 33 msnm. En esta subregión se forman ciénagas y caños que ejercen un efecto regulador siendo afluentes o efluentes, dependiendo del nivel del agua (b CORMAGDALENA 2013). Esta subregión recibe los aportes de los ríos: Guarinó, La Miel y Nare al occidente, y de los ríos Negro, Carare y Sogamoso, al oriente, entre otros (Ortega 2008).

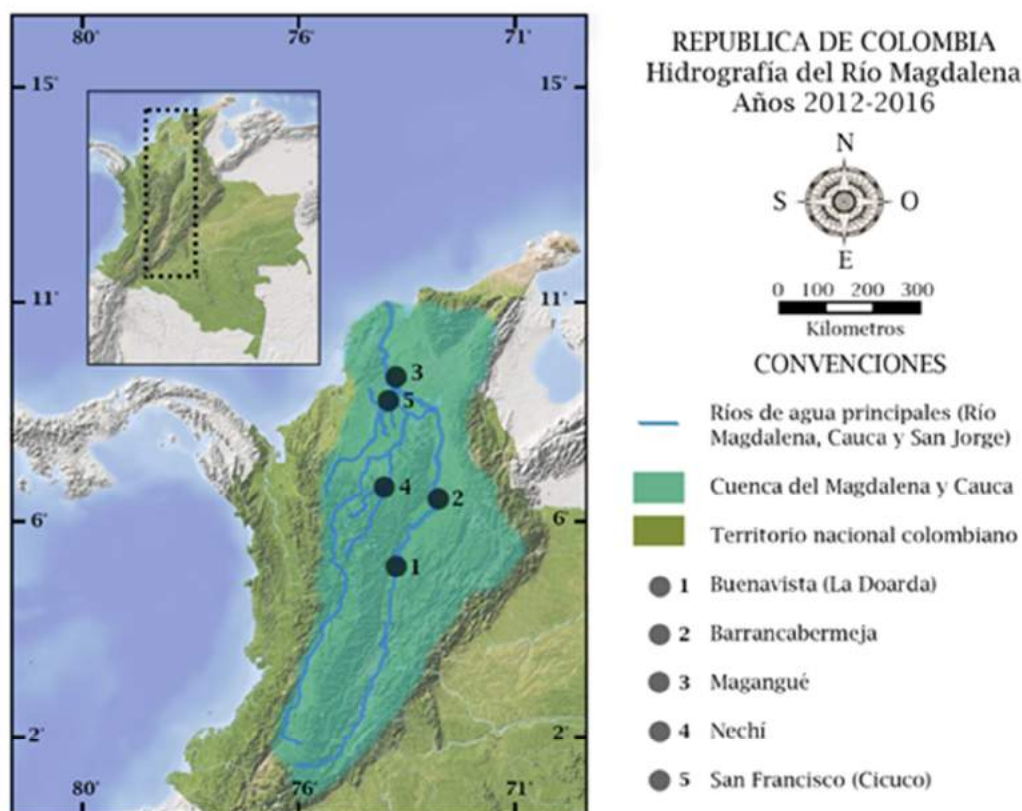


Figura 5: Mapa de los sitios de estudio o captura ubicados a lo largo de río Magdalena, Cauca y San Jorge. Mapa elaborado por Nadya L. Chaves A. (NASA 2003; IGAC 2014; Google Maps 2016).

La subregión del bajo Magdalena inicia en El Banco, desemboca en Bocas de Ceniza y en la bahía de Cartagena (b CORMAGDALENA 2013). Se encuentra en la depresión

Mompósina, la cual tiene un delta en el que confluyen los ríos: Cauca, Cesar y San Jorge, es una gran región inundable con un sistema de playones, caños y ciénagas (Ortega 2008). En cada región climática que atraviesa el río Magdalena hay variaciones climáticas que influyen en el nivel de las aguas. Dichos cambios se observan en la alternancia de dos ciclos hidrológicos intra-anales (I: entre enero y junio y II: entre julio y diciembre) y cuatro períodos hidrológicos (1: aguas bajas; 2: aguas subiendo; 3: aguas altas; y 4: aguas bajando) (Jiménez-Segura et al. 2009, Hernández-Barrero et al. 2014, IDEAM 2016) (Figura 6, Figura 30 y Tabla 58 anexo A).

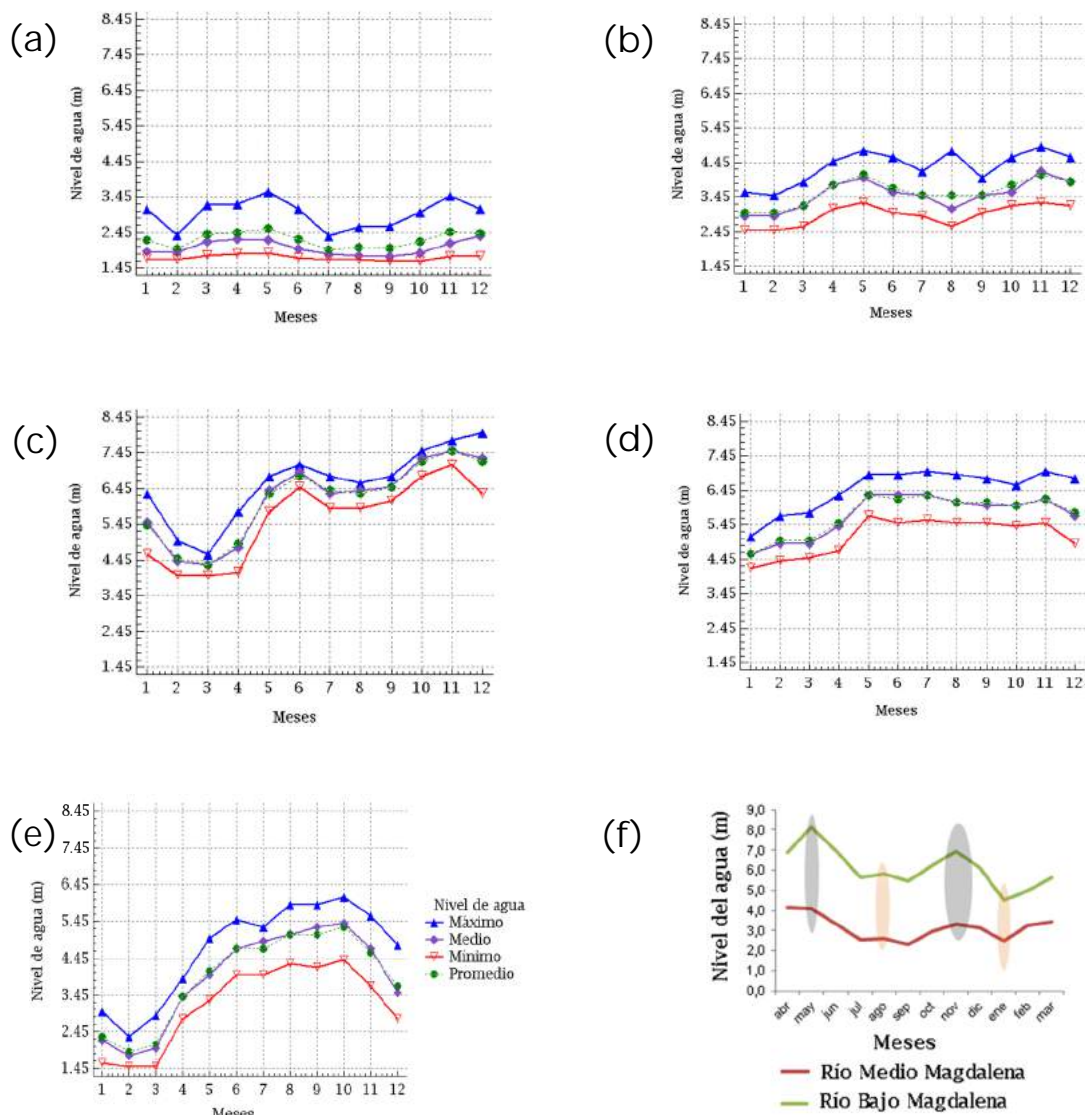


Figura 6: Distribución del nivel de agua del río Magdalena (2006-2014) en los meses de enero (1) a diciembre (12) en: (a) La Dorada (b) Barrancabermeja (c) Magangué (d) Nechí; río Cauca (e)

Cicuco; río San Jorge (IDEAM 2016) (f) Nivel medio y bajo del río Magdalena (abril de 2012 y marzo de 2013). Óvalos grises, aguas altas y naranja, aguas bajas (Hernández-Barrero et al. 2014).

Método

Con base en la adquisición de los registros fotográficos de *P. magdaleniatum* durante las faenas de pesca artesanal en el 2012, se organizó y conformó un banco de fotografías para el posterior análisis.

Se procesó la información obtenida determinando el patrón de manchas melánicas en *P. magdaleniatum* y se analizó la variabilidad de las manchas melánicas que componen el patrón, teniendo en cuenta el sexo y el lugar de estudio en el que se registraron los ejemplares capturados (Figura 7).

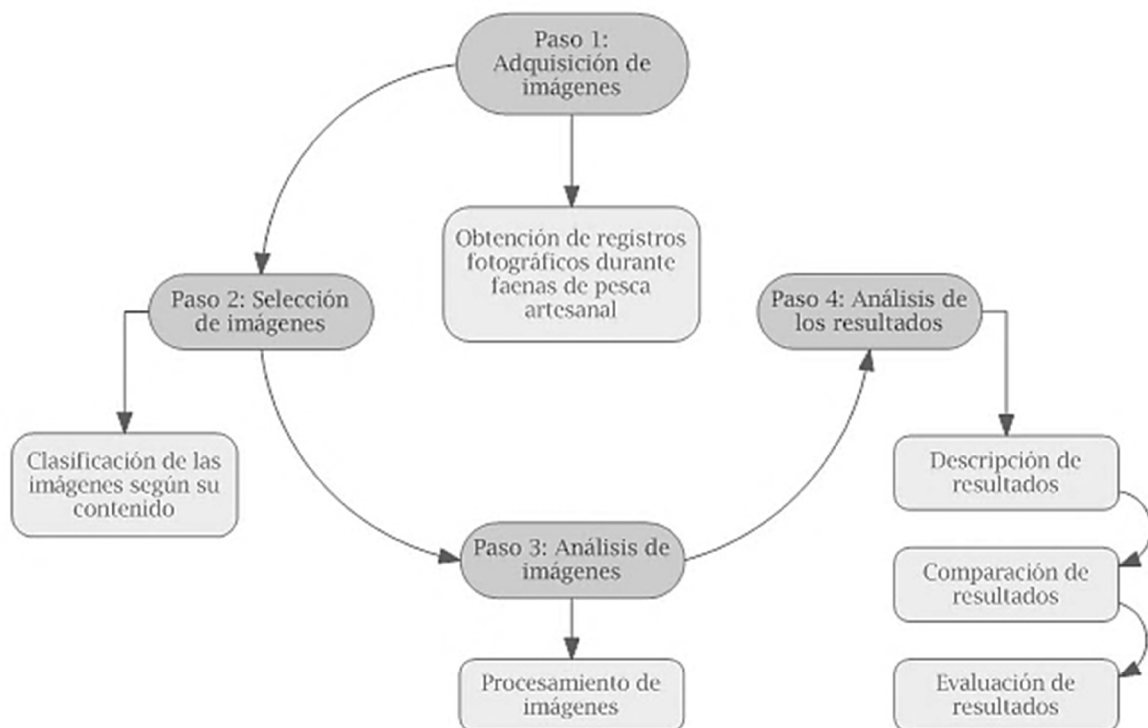


Figura 7: Método empleado para la evaluación de variabilidad de las manchas melánicas.

La adquisición y administración de las imágenes

Gracias a la investigación realizadas por Hernández-Barrero et al. (2014) y la fundación Humedales, cuyo equipo visitó los mercados locales, compraron ejemplares y acompañaron a los pescadores artesanales durante el año 2012. Fue posible obtener fotografías que incluyen registros de individuos, órganos, fauna asociada, técnicas de adquisición de información y artes de pesca, este material conformo un banco de 8814 fotografías.

Para la conformación del banco de fotografías de interés, se procedió a la organización y creación de carpetas temáticas con base en el contenido y el tipo de registro fotográfico.

La selección de las imágenes

Debido al peso y gran número de imágenes que conformaron el banco de fotografías (8814 fotografías), se hizo la filtración y selección de las fotografías de interés que, de acuerdo a sus características específicas facilitaron el análisis de las imágenes más pertinentes para este trabajo de investigación.

Las características en las fotografías de interés fueron: la resolución de la fotografía, la visualización de las manchas melánicas en el cuerpo del ejemplar, el lugar donde fue llevado a cabo el registro, la presencia o ausencia de una escala métrica, la fecha en que fue tomado el registro (en meses), el plano visual de la fotografía (el plano fotográfico del cuerpo del individuo: lado derecho, lado izquierdo, lado derecho dorsal, lado izquierdo dorsal, vista dorsal y vista ventral) y el sexo del individuo registrado.

El análisis de las imágenes

Se observaron un total de 1273 imágenes seleccionadas cada una de un ejemplar diferente, para identificar y cuantificar las manchas melánicas exhibidas por *P. magdaleniatum*. Dicha observación fue llevada a cabo por el investigador de forma manual. Aunado a esto se recolectaron anotaciones sobre las limitaciones en las observaciones y las posibles fuentes de error que podrían afectar la objetividad durante el procesamiento de las imágenes.

Se describió la característica (la forma) escogida por el investigador al momento de clasificar las manchas melánicas. Posteriormente se hizo el análisis de los datos obtenidos para la obtención de resultados, no sin antes realizar la compilación de dicha información cuantitativa pertinente en una base de datos. Dicha base de datos incluye el nombre del registro fotográfico y del individuo registrado, la fecha en meses y el lugar del registro, el sexo del ejemplar, el período y ciclo hidrológico, el número de manchas totales del tipo de manchas según su forma.

El procesamiento de las imágenes y la información cualitativa

Con el fin de reducir errores en la clasificación o caracterización y el conteo de las manchas se hizo un procesamiento inicial de 50 fotografías cuyo plano fotográfico era lateral derecho, las fotos fueron etiquetadas como referencia para el resto de fotografías. Estas imágenes sirvieron para un procesamiento automatizado con el programa MATLAB (MATLAB 2016), en dicho trabajo (llevado a cabo de manera paralela a esta investigación) se extrajo el cuerpo del ejemplar del fondo de la fotografía (segmentación del

pez) y las manchas (segmentación de las manchas) del cuerpo, procesando la imagen y realizando la identificación de las manchas y su conteo de manera automática.

Durante el procesamiento inicial se marcaron los puntos de referencia (land-marks) para delimitar el área de interés en el cuerpo del ejemplar y se resaltó cada una de las manchas melánicas para obtener el esquema de los ejemplares como se muestran en la figura 8, este procesamiento empleó el editor de gráficos Photoshop (Adobe Photoshop 2012).

La información cuantitativa obtenida a partir de la información cualitativa se hizo por medio de la estimación de la longitud y los conteos de las manchas según su forma. De esta manera se agregó a la base de datos las características del ejemplar asociadas al tamaño y a las manchas, en variables discretas (número de: lunares, barras, rayas y bucles) y una variable continua (longitud estándar en cm). Las variables cualitativas como el sexo y el lugar y la fecha fueron integradas a la base y al análisis por medio de su codificación (Tabla 6).

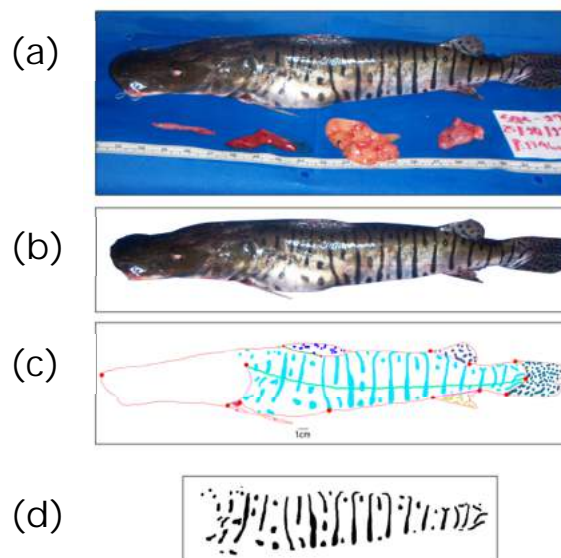


Figura 8: Segmentación manual del ejemplar y las manchas en *P. magdaleniatum* (a) Fotografía del ejemplar (b) Segmentación del cuerpo (c) Delimitación del cuerpo, la línea lateral y los puntos de referencia que delimitan el área de interés para el análisis (d) Segmentación de las manchas.

Para estimar la longitud estándar se empleó el software ImageJ (IMAGEJ 2013), teniendo como referencia objetos (etiqueta) de tamaño conocido o la escala presente en algunos registros. La medida de la longitud estándar siguió como referencia la parte más distal de la cabeza y el comienzo de la apertura bucal hasta el comienzo de los radios de la cola caudal siguiendo la línea lateral como referencia medial (Figura 9).

En las fotografías del primer procesamiento se delimitó el área de interés para el análisis de las manchas, que posteriormente sirvió de referencia para el resto de las fotografías en el plano visual lateral izquierdo y lateral derecho de los ejemplares registrados y analizados.



Figura 9: Esquema de la segmentación de manchas y la longitud estándar.

El conteo manual consistió en la identificación de la forma de cada mancha, su marcación con un código de colores y su registro en número (Figura 10).

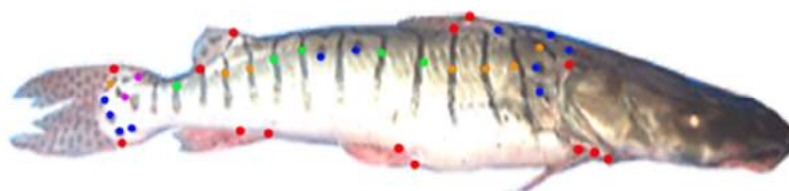


Figura 10: Esquema de manchas según su forma. Punto azul: lunar; naranja: barra; verde: bucle; rosa: raya; rojo Land-Mark. Número total de lunares =11; Número total de barras =7; Número total de bucles =5; Número total de rayas TR= 2.

Análisis de los resultados

La base de datos está conformada por las variables mostradas en la tabla 2.

Tabla 2: Variables para la comparación y evaluación de los datos obtenidos.

Símbolo	Variable	Descripción
TL	Número total de lunares	Lunares contados y presentes en el área de interés para el análisis en cada uno de los ejemplares registrados.
TB	Número total de barras	Barras contadas y presentes en el área de interés para el análisis en cada uno de los ejemplares registrados.
TR	Número total de rayas	Rayas contadas y presentes en el área de interés para el análisis en cada uno de los ejemplares registrados.
TBu	Número total de bucles	Bucles contados y presentes en el área de interés para el análisis en cada uno de los ejemplares registrados.
TM	Número total de manchas	Las manchas contadas y presentes en el área de interés para el análisis en cada uno de los ejemplares registrados.
LE	Longitud estándar	Distancia entre el punto más distal y comienzo de la boca hasta el inicio de los rayos de la aleta caudal, medida en cm.
Código de tamaño	Intervalo de longitudes	Intervalos de tamaños teniendo en cuenta la longitud estándar y sus frecuencias.
Período	Período hidrológico	El período hidrológico en el cual fue llevado a cabo el registro teniendo en cuenta la fecha en meses del registro.
Código del	Sexo del	El sexo del ejemplar registrado.

Símbolo	Variable	Descripción
sexo	ejemplar	
Código del lugar	Lugar del registro	El lugar de estudio en donde fue capturado y registrado el ejemplar analizado.

Se hizo una descripción de cada clase de mancha; se codificó el sexo, lugar y fecha (en períodos). Se contó el número de individuos. Se hizo el resumen estadístico descriptivo, se analizaron las proporciones entre los sexos, se mostraron las frecuencias relativa, absoluta y acumulada de los tamaños y se evaluó si los datos seguían una distribución normal, teniendo en cuenta el sesgo estándar, la curtosis estándar, la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov y el grafico de probabilidad normal (Figura 31 anexo A).

Para reducir la direccionalidad de la base de datos se hizo el análisis de componentes principales. Se obtuvo un número reducido de combinaciones lineales de las 6 variables (LE, TL, TB, TR, TBu y TM) que explicaron la mayor variabilidad en los datos y se realizaron los diagramas de dispersión de los componentes.

Se hizo un análisis de discriminantes para evaluar la clasificación de tamaños con base en las frecuencias analizadas. Se hizo un resumen estadístico en el que se mostró el recuento de individuos, se compararon los tamaños en cada lugar, sexo y período (teniendo en cuenta la no normalidad) con la prueba de Kruskal-Wallis. Se complementó con el análisis ANOVA, realizando la transformación de la variable LE según el método Box-Cox (1964). Se hizo la prueba de múltiples rangos para identificar los grupos homogéneos, la estimación de los coeficientes de correlación: Tau-b de Kendall y Rho de Spearman y la correlación lineal para identificar la correlación entre las variables LE y TM teniendo en cuenta el lugar.

Se mostraron las proporciones según el número total de individuos en cada sexo, su porcentaje y se discriminó teniendo en cuenta el lugar y el período. Se hizo un resumen estadístico para cada sexo y las variables cuantitativas. Se compararon los sexos con las pruebas: U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis, teniendo en cuenta la no normalidad, así como la ineficacia de las transformaciones (Box-Cox (1964), LOG (Y), LOG (Y+1)). Para evaluar la posibilidad de predecir el sexo en función del número de manchas según su forma, se hizo el análisis de discriminantes el cual muestra que existen diferencias entre los dos sexos, sin embargo se presenta una sola función que discrimina entre los dos sexos (Tablas 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78 y Figura 37 anexo A), por lo tanto se hizo el análisis de regresión logística binaria con SPSS (IBM SPSS Statistics).

Se hizo la estimación estadística descriptiva para cada lugar. Se compararon los lugares con las pruebas no paramétricas: Kruskal-Wallis y mediana de Mood, teniendo en cuenta la no normalidad y la ineficacia de las transformaciones (Box-Cox (1964), LOG (Y), LOG (Y+1)). Para evaluar la posibilidad de predecir el lugar en función del número de

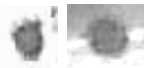

manchas, se hizo el análisis de discriminantes, el cual indica dos funciones que discriminan entre los lugares, sin embargo, los grupos se superponen y no es posible discriminar con claridad (Tablas 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91 Figura 38 anexo A). Por lo tanto, se hizo el análisis de regresión logística multinomial con SPSS (IBM SPSS Statistics). El primer análisis incluyó todos los lugares de estudio, sin embargo, el modelo no se ajusta de manera aceptable ya que el grado de pronóstico para La Dorada es inferior al 50% (Tablas 92, 93, 94, 95, 96 y 97 anexo A). Por lo tanto, se hizo un nuevo análisis en el que se excluyó La Dorada.





En el análisis del período hidrológico (codificado así partiendo de la fecha en meses del registro fotográfico) se hizo el histograma de frecuencias y el resumen estadístico descriptivo. Se comparó la longitud estándar y el número de las manchas según su forma, teniendo en cuenta el período y la no normalidad de los datos, empleando la prueba de Kruskal-Wallis. Se hizo un análisis de discriminantes que indica que hay dos funciones que permiten discriminar los datos con base en los períodos; sin embargo, el solapamiento de los grupos es alto por lo tanto no es posible identificarlos con claridad (Tablas 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110 y Figura 39 anexo A). Los análisis estadísticos se realizaron con los programas STATISTICA (STATISTICA 2013), SPSS (SPSS 2016), Statgraphics (STATGRAPHICS 2010) e InfoStat (InfoStat 2016).

Resultados

La observación de las manchas en todos los ejemplares analizados permite el planteamiento de la clasificación o caracterización inicial de las manchas según su forma y su orientación en el cuerpo y el área de interés. A partir de dichas observaciones se definieron 4 clases diferentes de manchas: Lunares (L), Barras (B), Rayas (Ra) y Bucles (Bu) (Tabla 3).

Tabla 3: Definición y caracterización de las manchas melánicas en *P. magdaleniatum*.

Clase de mancha	Definición
Lunares 	Parche melánico discreto de forma circular y poca o nula excentricidad
Barras 	Parche melánico discreto de forma elongada y con una orientación vertical en el área de interés en el cuerpo del ejemplar. Este parche está orientado de manera dorsal-ventral en el cuerpo, en la parte dorsal se une o no con otras barras del otro lado del cuerpo y nunca llegan hasta la parte ventral del cuerpo.

Clase de mancha		Definición
Rayas		Parche melánico discreto de forma elongada y con una orientación horizontal en el área de interés en el cuerpo del ejemplar. Este parche está orientado de manera anterior-posterior en el cuerpo. Se tiene en cuenta solo el parche en el área de interés y no se incluyen aquellos que están solo en la cabeza o la cola.
Bucles		Parche melánico discreto de una forma alargada y reticulada que no presentan una orientación clara en el área de interés del cuerpo del ejemplar.
Barra		Algunos parches elongados con un cierto grado de inclinación son definidos como barras o rayas, dependiendo del ángulo de inclinación. Si el parche se encuentra con un ángulo de inclinación menor a 45° es definido como raya, pero si su ángulo es igual o mayor a 45° es definido como barra.
		

Los lugares de estudio de captura y donde se realizaron los registros fotográficos fueron codificados como se muestra en la tabla 4, siguiendo la referencia de su altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm) y su ubicación en el río Magdalena o en los ríos tributarios Nechí y San Jorge.

Se observaron 1273 individuos procedentes de La Dorada, Barrancabermeja, Magangué, Nechí y San Jorge. Analizando 26 ejemplares en La Dorada, 294 ejemplares en Barrancabermeja, 300 ejemplares en Magangué, 361 ejemplares en Nechí y 292 ejemplares en Cicuco (Tabla 4).

La muestra más pequeña de individuos fue tomada en la Dorada, esto debido al proceso de filtrado de fotografías de interés y la naturaleza del muestreo (capturas durante las faenas de pesca artesanal). Se observó una mayor cantidad de machos que de hembras en: La Dorada y Barrancabermeja, mientras que se registró una mayor cantidad de hembras que de machos en: Magangué, Nechí y Cicuco. Sin embargo, en la muestra general se analizó una mayor cantidad de hembras que de machos.

Tabla 4: Número de ejemplares registrados.

Código del lugar	Lugar de estudio	Ni	Numero de Hembras	Numero de Machos
1	La Dorada	26	7	19
2	Barrancabermeja	294	144	150
3	Magangué	300	167	133
4	Nechí	361	246	115
5	Cicuco	292	179	113

Total	1273	743	530
-------	------	-----	-----

En la tabla 5 se muestra el código del período y ciclo hidrológicos, siguiendo las descripciones del nivel de agua del río Magdalena y los datos del IDEAM (2016). Se hizo un mayor registro de individuos durante el ciclo dos, observándose un incremento en el número de individuos registrados conforme se pasa del primero al último período.

Tabla 5: Código del período y ciclo hidrológico de la cuenca del Magdalena.

Período	Meses	Ni	Ciclo	Ni
1	Enero a Marzo	251	I	547
2	Abril a Junio	296		
3	Julio a Septiembre	363	II	726
4	Octubre a Diciembre	363		

Se observó una mayor cantidad de hembras (743) que de machos (530), es decir que el 58% de los individuos eran hembras mientras que el 42% eran machos (Tabla 6).

La proporción no es 1:1 (50% hembras y machos) y es posible que esta especie no siga los principios de Fisher (1930), en donde la especie no tendría una estrategia de reproducción evolutivamente estable y se presentaría una disminución en la eficacia biológica. El sexo se codifica para su posterior análisis como variable categórica en algunas pruebas estadísticas y se emplean los símbolos con fines de exposición. Se registraron una mayor cantidad de hembras que de machos (Tabla 6).

Tabla 6: Código del sexo y su símbolo.

Código del sexo	Sexo registrado	Número de individuos	Símbolo
1	Macho	529	♂
2	Hembra	744	♀

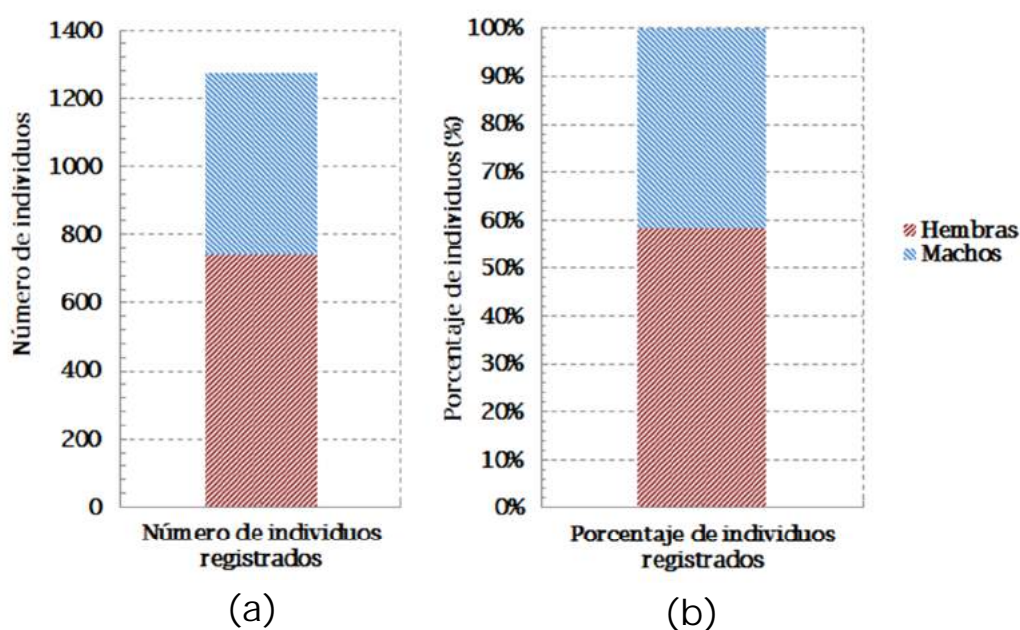


Figura 11: Número de individuos y porcentaje de individuos registrados según su sexo (a) Número de individuos (b) Porcentaje de individuos.

En cuanto al número de individuos registrados, en la Dorada se registraron individuos solo en los periodos 2 y 3. En los otros lugares se hizo un análisis de todos los períodos hidrológicos. Durante los dos periodos registrados en la Dorada, se observaron más machos que hembras, en Barrancabermeja y durante el período 4 se observaron más hembras que machos, en Magangué se observaron más machos que hembras durante el período 2, en Nechí se observaron más hembras que machos durante todos los períodos y en Cicuco, San Jorge, durante el período 2 se observaron más machos que hembras. El mayor número de individuos observados se hizo durante el período 3 y 4, mientras que durante el período 1 se obtuvo el menor número de registros para machos y hembras (Tabla 7).

Tabla 7: Número de individuos con base en el sexo, lugar de estudio y período hidrológico.

Código del lugar	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4		ni
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	
1	0	0	1	8	6	11	0	0	26
2	34	44	23	28	34	38	53	40	294
3	41	19	25	35	47	43	54	36	300
4	60	30	63	24	59	35	64	26	361
5	14	9	43	46	54	36	68	22	292
ni (sexo)	149	102	155	141	200	163	239	124	1273

Código del lugar	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4		ni
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	
ni (período)	251		296		363		363		1273

En el resumen estadístico se observa el sesgo estandarizado (SE) y la curtosis estandarizada (CE), con valores por fuera del rango de -2 a +2 (valores resaltados en rojo), lo que indica que existen desviaciones significativas de la normalidad. En este caso, las variables: LE, TL, TB, TR, TBu, TM, muestran valores de sesgo estandarizado fuera del rango esperado. Mientras que las variables: LE, TL, TB, TR, TM, muestran la curtosis estandarizada fuera del rango esperado (Tabla 8).

Tabla 8: Resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas.

Variable	\bar{X}	ER	S	CV (%)	Mínimo	Máximo	Rango	SE	CE
Período	2.658	0.031	1.091	41.046	1	4	3	-2.982	-9.177
Cuenca	2.491	0.031	1.101	44.203	1	4	3	-0.387	-9.622
Cód. del lugar	3.471	0.032	1.137	32.769	1	5	4	-2.027	-8.198
Cód. del tamaño	2.069	0.018	0.653	31.545	1	4	3	11.103	11.252
Cód. del sexo	1.584	0.014	0.493	31.14	1	2	1	-4.95	-13.747
LE	66.101	0.462	16.494	24.953	30	159	129	14.783	14.305
TL	36.040	0.520	18.565	51.51	4	217	213	36.824	96.134
TB	13.426	0.202	7.1969	53.60	1	97	96	39.749	136.89
TR	2.528	0.040	2.483	98.22	0	43	43	68.881	434.032
TBu	8.973	0.129	4.609	51.37	0	29	29	6.4474	1.787
TM	60.966	0.655	23.379	38.35	20	283	263	33.568	81.487

Los valores de la prueba Kolmogorov son menores a 0.0001, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se puede asumir que los datos no tienen distribución normal (Tabla 9, Figura 31 en anexo A).

Tabla 9: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov.

Variable	Ajuste	\bar{X}	Varianza	n	D	Valor-P
LE	Normal (0,1)	66.10	272.05	1273	1	<0.0001
TL	Normal (0,1)	36.04	344.65	1273	1	<0.0001
TB	Normal (0,1)	13.43	51.79	1273	0.99	<0.0001
TR	Normal (0,1)	2.53	6.16	1273	0.67	<0.0001

Variable	Ajuste	\bar{X}	Varianza	n	D	Valor-P
TBu	Normal (0,1)	8.97	21.25	1273	0.94	<0.0001
TM	Normal (0,1)	60.97	546.56	1273	1	<0.0001

El análisis de componentes principales muestra que existen 2 componentes con valores propios mayores o iguales a 1. En conjunto, ellos explican el 68.8% de la variabilidad en los datos originales. El primer componente explica el 50% de la varianza mientras que el segundo explica el 18.75. La tabla 10 muestra la matriz de componentes conformada a partir del análisis de componentes principales, indicando los pesos de los componentes para cada variable; también se indican las ecuaciones de los componentes principales.

Tabla 10: Matriz de componentes principales.

Variable	Componente 1	Componente 2
LE	0.47	0.12
TL	0.51	-0.06
TB	0.43	-0.34
TR	0.15	0.42
TBu	0.03	0.83
TM	0.56	0.06
Porcentaje acumulado	50.072	68.822
Porcentaje de la Varianza	50.072	18.75
Valor propio	3.004	1.125

El primer componente principal tiene la ecuación en donde los valores de las variables en la ecuación se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar representados en la siguiente ecuación 1. Para este análisis se ha estandarizado los valores de las variables en la ecuación, restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar.

Ecuación 1: Primer componente.

$$\text{Componente 1} = (0.47 * LE) + (0.51 * TL) + (0.43 * TB) + (0.15 * TR) + (0.03 * TBu) + (0.56 * TM)$$

El gráfico de pesos del componente muestra la localización de las variables en el espacio de dos componentes. Las variables más alejadas de las líneas de referencia en 0 hacen la mayor contribución a la conformación del componente 1 y 2.

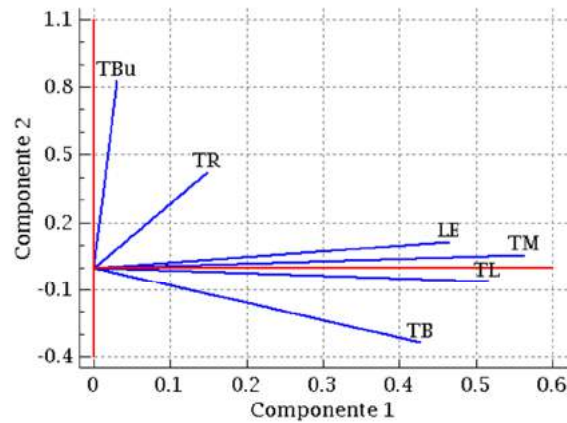


Figura 12: Grafica de los pesos de componentes.

El diagrama de dispersión muestra la distribución de los 1273 registros de acuerdo a los dos componentes, la dispersión fue baja (Figura 13A). Cuando se observa dicha distribución teniendo en cuenta el intervalo de tamaños que ha sido codificado se identificó que el primer componente se relaciona con el tamaño o la longitud estándar (Figura 13B).

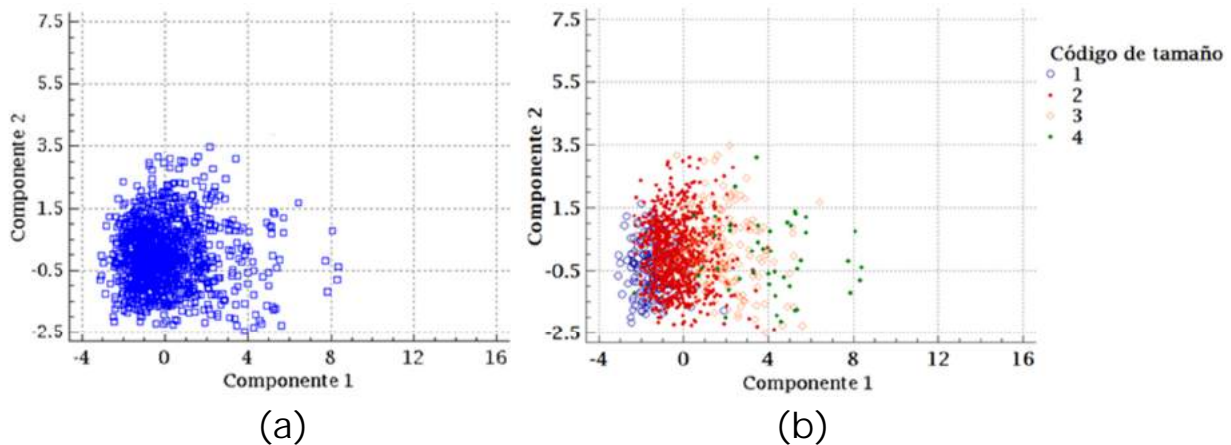


Figura 13: Diagrama de dispersión en: (a) los componentes principales y (b) según el tamaño.

Análisis de la longitud estándar y el efecto del tamaño

El tamaño fue analizado a partir de la variable continua longitud estándar. Se encontró una longitud máxima de 159 ± 1.701 cm, mínima de 30 ± 0.316 cm y en promedio de 66 ± 0.362 cm. La figura 14 muestra los histogramas de frecuencias, en los cuales se divide el rango de la longitud en intervalos y se cuenta el número de datos en cada uno. Las frecuencias del número de datos para cada intervalo y las frecuencias relativas indican las proporciones en cada intervalo (Tabla 59 anexo A). Se analizó un mayor número de ejemplares con una longitud inferior a la talla mínima de captura, las tabulaciones de los

histogramas de frecuencias según el lugar de muestreo (Figura 32), sexo (Figura 33) y período (Figura 34) se encuentran en el anexo A.

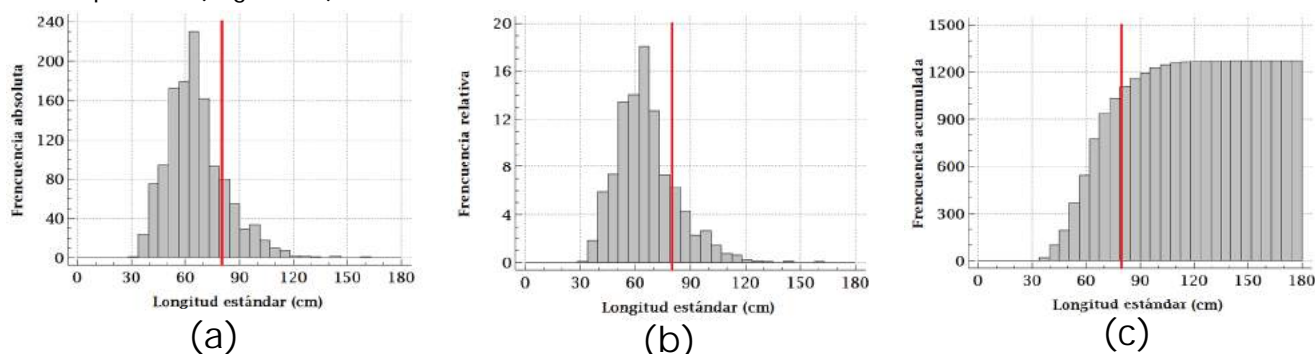


Figura 14: Histograma de frecuencia (a) absoluta (b) acumulada (c) relativa. La talla de captura mínima sugerida por la norma se representa con la línea roja.

En todos los lugares de estudio se observaron frecuencias relativas altas, en longitudes menores a 80 cm. Tanto hembras como machos poseen frecuencias relativas altas en intervalos de longitudes menores a 80 cm, sin embargo, en las hembras hay frecuencias en los intervalos de longitudes mayores a 80 cm que son más altas que en los machos.

En cuanto a los períodos hidrológicos, las frecuencias relativas más altas se encuentran por debajo de la longitud estándar de 80 cm, aunque durante el periodo uno se presentó la menor longitud estándar para las frecuencias relativas. Con base en las frecuencias de LE se codificaron 4 intervalos de tamaños como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11: Código de tamaño e intervalos de longitud estándar.

Código de tamaño	Intervalo de longitud estándar (cm)	ni
1	$x < 50$	169
2	$50 \leq x < 80$	879
3	$80 \leq x < 100$	173
4	$100 \leq x$	52
Total		1273

En la figura 15 se muestran las dos funciones discriminantes con valores-P menores que 0.05 y que son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (Tabla 12). La primera función es la más importante ya que explica el 98.5% de la varianza, siendo la variable LE la que más aporta a esta función; la segunda función explica 1.43% de la varianza, y las variables TL y TB son aquellas que contribuyen en mayor medida a la función dos (Tabla 13 y Tabla 15). El porcentaje de casos correctamente clasificados es de 86.88% (Tabla 61 anexo A).

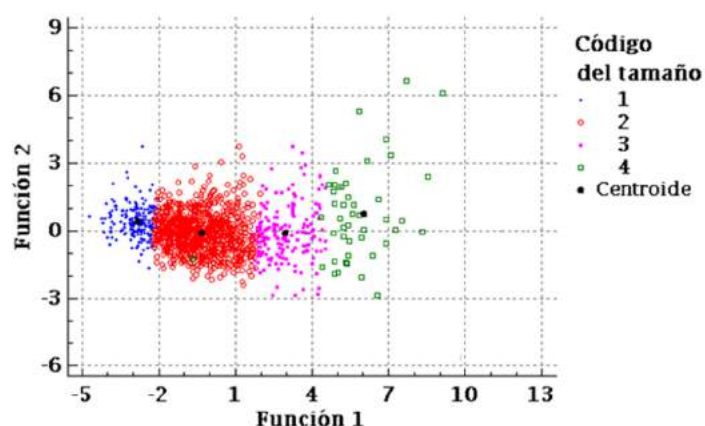


Figura 15: Gráfica de funciones discriminantes para el código de tamaño.

La función uno presenta el mayor valor propio y una correlación canónica alta (cercana a uno), lo que indica que las variables discriminantes en la función permiten diferenciar los grupos (Tabla 12).

El estadístico lambda de Wilks indica la proporción de variabilidad total no debida a las diferencias entre los grupos; su valor es de 0.187 para la primera función (alejado de uno) por lo que hay una diferencia entre los grupos, en cambio para las funciones 2 y 3 no existe diferencia entre los grupos. La función 1 explica el 98.58% de la varianza de la variable LE. Solo las funciones 1 y 2 son significativas ya que la función 3 posee un valor mayor a 0.05.

Tabla 12: Análisis de discriminantes para el código de tamaño.

Función Discriminante	Valor propio	Porcentaje Relativo	Correlación Canónica	Lambda de Wilks	X ²	GI	Valor-P
1	4.04461	98.58	0.895	0.187	2122.979	15	<0.0001
2	0.056	1.33	0.229	0.945	71.757	8	<0.0001
3	0.002	0.06	0.049	0.998	3.0.091	3	0.378

Ecuación 2: Función de clasificación del primer nivel del código de tamaño. X=Cód. tamaño.

$$f_{(x=1)} = -20.08 + (0.776 * LE) + (-0.012 * TL) + (0.118 * TB) + (0.218 * TR) + (0.264 * TBu)$$

Las funciones son resumidas en la tabla 13. Siendo 4 funciones para cada nivel del código de tamaño (Centroides Tabla 62 anexo A). Un ejemplo se muestra en la ecuación 2.

Tabla 13: Coeficientes de la función de clasificación para el código de tamaño.

Variable	Función			
	1	2	3	4
LE	0.776	1.151	1.595	1.978
TL	-0.012	-0.035	-0.035	0.005
TB	0.118	0.106	0.134	0.276
TR	0.218	0.195	0.248	0.215

TBu	0.264	0.279	0.258	0.252
Constante	-20.08	-39.449	-73.437	-117.087

Los coeficientes estandarizados muestran la importancia de cada una de las variables para predecir el grupo al que pertenece cada ejemplar analizado. En este caso la variable LE es la más importante de las variables (Tabla 14) (sin estandarizar Tabla 60 anexo A).

Tabla 14: Tabla de coeficientes estandarizados.

Variable	Función		
	1	2	3
LE	0.979	-0.399	0.068
TL	0.003	0.684	0.126
TB	0.077	0.612	-0.448
TR	0.012	0.042	0.801
TBu	-0.01	-0.102	-0.052

Al comparar LE en los cuatro intervalos de tamaños se posee un mayor tamaño muestral de los ejemplares con longitudes entre los 50 cm y menores a 80 cm. Se hizo un resumen estadístico para cada intervalo de tamaños (Tabla 15). Se muestrearon 1053 individuos (código 1 y 2) por debajo de la talla de captura recomendada por la norma, mientras que 225 ejemplares sobrepasaban dicha talla (código 3 y 4).

Tabla 15: Resumen estadístico de la longitud estándar.

Cód. de tamaño	Recuento	\bar{X}	S	CV (%)	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estand.	Curtosis Estand.
1	169	43.9589	4.108	9.345	30	49	19	-4.396	0.242
2	879	63.409	7.729	12.191	50	79	29	1.866	-5.574
3	173	87.821	5.892	6.709	80	99	19	1.936	-2.949
4	52	111.308	12.266	11.019	100	159	59	5.723	6.419
Total	1273	66.101	16.494	24.953	30	159	120	14.783	14.305

Los códigos 2 y 4 tienen un alto coeficiente de variación, pero es en el intervalo 4 donde se presenta la más alta desviación estándar. El sesgo y la curtosis estandarizada se encuentran fuera del rango -2 a +2 para los 4 intervalos de tamaño, lo que indica la no normalidad significativa en los datos. Por esta razón, al comparar lugares, sexo y período hidrológico se utiliza la prueba de Kruskal-Wallis y se transforman los datos para realizar las comparaciones con pruebas paramétricas (Tabla 17, 18, 19, 20, 23 y 26).

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de los 5 lugares de estudio es la misma. El valor-P es menor que 0.05; por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel del 95% de confianza (Tabla 16). Para determinar cuáles medianas son significativamente diferentes de otras, se hizo el diagrama mostrado en la figura 16, la Dorada presenta un intervalo de confianza muy amplio debido al tamaño muestral, hay un grupo entre

Barrancabermeja y Nechí que se diferencian de Magangué y Cicuco que también conforman un grupo con pocas diferencias entre sí (Figura 16A).

Tabla 16: Prueba de Kruskal-Wallis para la longitud estándar (cm) por el lugar de estudio.

Lugar de estudio	n	Rango promedio	X^2	GI	Valor-P
1	26	550.923	254.16	4	<0.0001
2	294	823.257			
3	300	457.923			
4	361	772.017			
5	292	474.193			

La prueba de Kruskal-Wallis evaluó la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de los sexos es la misma. El valor-P es menor que 0.05, luego existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con el 95% de confianza (Tabla 17).

El diagrama muestra que hay medianas diferentes entre hembras y machos, siendo mayor en las hembras que en los machos (Figura 16B).

Tabla 17: Prueba de Kruskal-Wallis para la longitud estándar (cm) por el sexo.

Sexo	n	Rango promedio	X^2	GI	Valor-P
♂	530	461.88	206.151	1	<0.0001
♀	743	761.92			

La prueba de Kruskal-Wallis comparar la LE teniendo en cuenta el período hidrológico, muestra un valor-P es menor que 0.05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa con el 95% de confianza (Tabla 18). El diagrama muestra medianas diferentes entre los períodos 2, 3 y 4 e indica semejanzas entre los periodos 1 y 4 (Figura 16C).

Tabla 18: Prueba de Kruskal-Wallis para la longitud estándar (cm) por período.

Período hidrológico	n	Rango promedio	X^2	GI	Valor-P
1	251	685.98	51.948	3	<0.0001
2	296	524.82			
3	363	612.17			
4	363	719.44			

(a)

(b)

(c)

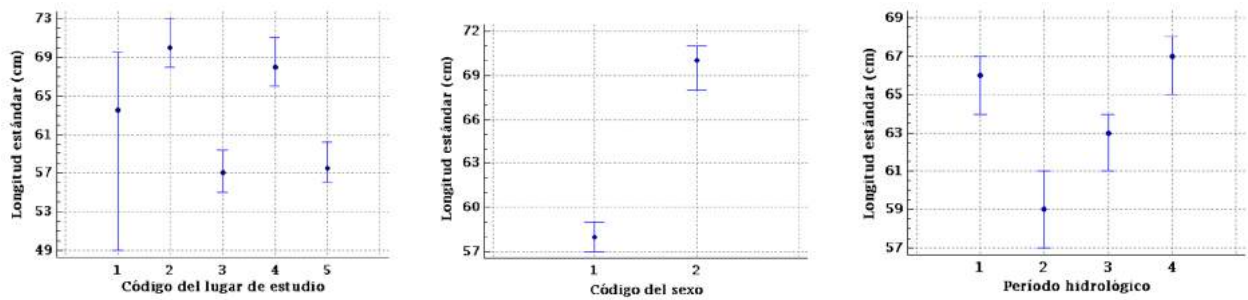


Figura 16: Gráficos de medianas para la longitud estándar (cm), (a) el lugar, (b) el sexo y (c) el período. El punto señala la mediana. Los bigotes son el intervalo de confianza del 95%.

En la comparación paramétrica del ANOVA, la variable longitud estándar se transformó siguiendo el método de Box-Cox (1964) y empleando el programa Statgraphics (STATGRAPHICS 2010). Dicha transformación es mostrada en la ecuación 3 y cumple con los supuestos de normalidad de la prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 63 anexo A).

Ecuación 3: Transformación de LE.

$$LE_T = \frac{1 + (LE^{-0.213})}{-0.213 * 64.197^{-1.213}}$$

Al comparar la LET entre los lugares de manera paramétrica, se observó que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, luego existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 lugares de estudio, con el 95% de confianza (Tabla 19).

Tabla 19: ANOVA para LET por código de lugar.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre-grupos	63680.3	4	15920.1	84.986	<0.0001
Intra-grupos	237531	1268	187.327	-	-
Total (Corr.)	301211	1272	-	-	-

En la prueba de múltiples rangos (Tabla 20 y 21), se identificaron 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's, los lugares con X's en la misma columna no poseen diferencias entre sí. Para discriminar entre las medias se empleó la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un porcentaje de 95% LSD. Con este método hay un riesgo del 5% al decir que cada par de medias es significativamente diferente siendo falso.

Tabla 20: Grupos homogéneos con base en la alineación de las X's en cada lugar de estudio.

Código del lugar	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	300	423.07	X
5	292	423.403	X
1	26	425.673	X
4	361	436.614	X
2	294	438.395	X

La tabla 21 muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos tienen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza.

Tabla 21: Diferencias entre medias de la LET por el lugar de estudio.

Contraste	Valor-P	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-12.721	5.489
1 - 3	-	2.604	5.484
1 - 4	*	-10.94	5.447
1 - 5	-	2.269	5.49
2 - 3	*	15.325	2.202
2 - 4	-	1.781	2.107
2 - 5	*	14.991	2.216
3 - 4	*	-13.544	2.096
3 - 5	-	-0.334	2.205
4 - 5	*	13.21	2.111

Al comparar la LET según el género o sexo se encontró que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre cada sexo, con un nivel del 95% de confianza (Tabla 22).

Tabla 22: ANOVA para LET por código del sexo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F	Valor-P
Entre-grupos	45560.7	1	45560.7	226.511	<0.0001
Intra-grupos	255650.	1271	201.141	-	-
Total (Corr.)	301211.	1272	-	-	-

Las comparaciones múltiples detectan 2 grupos homogéneos que corresponden a los dos sexos. La tabla 23 muestra los 2 grupos según la alineación de las X's en columnas. El método para discriminar entre las medias fue la diferencia mínima significativa de Fisher con el 95% LSD.

Tabla 23: Grupos homogéneos con base en la alineación de las X's en cada sexo.

Código del sexo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	530	423.496	X
2	743	435.632	X

La tabla 24 señala las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco indica que el par tiene diferencias estadísticamente significativas con el 95% de confianza.

Tabla 24: Diferencias entre medias de la LET por el sexo.

Contraste	Valor-P	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-12.136	1.581

Al comparar la LET entre los períodos de manera paramétrica, se observó que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, luego existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 4 período hidrológicos, con el 95% de confianza (Tabla 25).

Tabla 25: ANOVA para LET por período hidrológico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	F	Valor-P
Entre-grupos	11740.3	3	3913.44	17.16	<0.0001
Intra-grupos	289470.	1269	228.109	-	-
Total (Corr.)	301211.	1272	-	-	-

Las comparaciones de múltiples rangos indica que hay 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en las columnas (Tabla 26).

Tabla 26: Grupos homogéneos con base en la alineación de las X's en cada período.

Período hidrológico	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	296	425.938	X
3	363	429.639	X
1	251	432.601	X
4	363	433.906	X

Se detectaron 5 diferencias estimadas entre los pares de medias. El asterisco indica que el par tiene diferencias estadísticamente significativas con el 95% de confianza (Tabla 27).

Las gráficas de Fisher para el lugar, sexo y período (Figura 35) están en el anexo A.

Tabla 27: Diferencias entre medias de la LET por el período hidrológico.

Contraste	Valor-P	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	6.663	2.539
1 - 3	*	2.962	2.43
1 - 4	-	-1.305	2.43
2 - 3	*	-3.701	2.318
2 - 4	*	-7.968	2.318
3 - 4	*	-4.267	2.197

Las relaciones entre la longitud y el número de manchas se analizaron con las pruebas Kendall y Spearman siendo en todos los casos positivos y significativos en el nivel 0.01 (bilateral) (Tabla 28).

Tabla 28: Pruebas Kendall y Spearman para el número de manchas según su forma.

Variable	Prueba	Medidas	LE	TL	TB	TR	TBU	TM
LE	Tau-b de Kendall	Coef.	1	0.366	0.322	0.115	0.113	0.447
		Valor -P	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		N	1273	1273	1273	1273	1273	1273
	Rho de Spearman	Coef.	1	0.514	0.452	0.158	0.162	1
		P-Valor	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	-
		N	1273	1273	1273	1273	1273	1273

A medida que aumenta el tamaño, aumenta el número de lunares (Figura 17A), de manera homologa y más débil sucede con las barras (Figura 17B). Esto no ocurre con el número de rayas y bucles (Fura 17C y 17D). Los lugares 1, 2 y 4 tienen un rango amplio de tamaños con individuos mayores a 105 cm, los lugares 3 y 5 tienen un rango de tamaños reducido con individuos que no sobrepasan los 105 cm (Figura 17E).

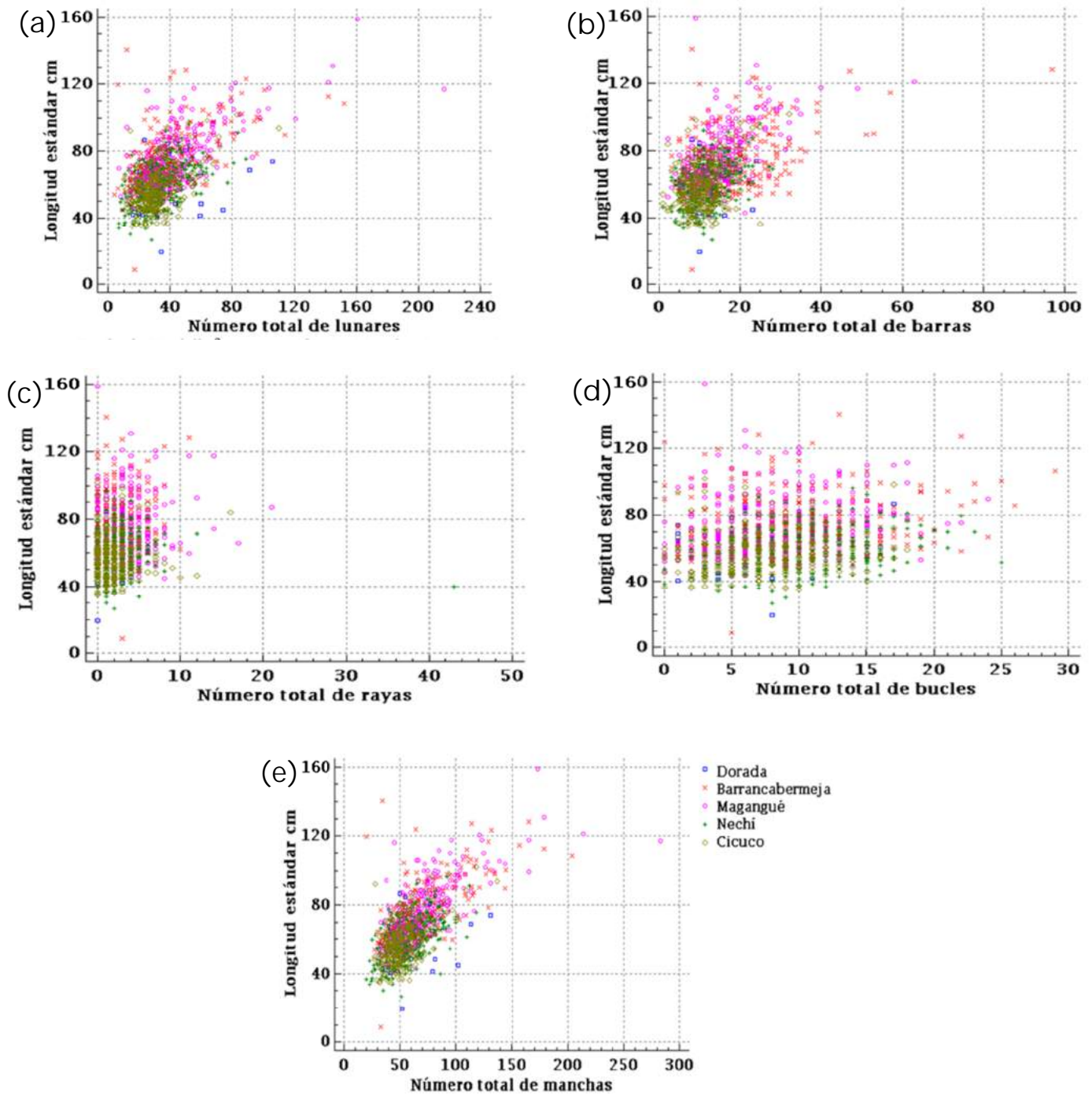


Figura 17: Gráfico de dispersión Y=LE y X= (a) TL (b) TB (c) TR (d) TBU (e) TM.

La correlación entre la longitud y las manchas según el lugar se probó con la regresión lineal simple entre las variables LE (independiente) y TM (dependiente). Los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación se muestran en la tabla 29 y para cada lugar en las ecuaciones 4, 5, 6, 7 y 8.

Ecuación 4: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en La Dorada.

$$LE = 53.548 + 0.097 * TM$$

Ecuación 5: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Barrancabermeja.

$$LE = 46.869 + 0.403 * TM$$

Ecuación 6: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Magangué.

$$LE = 41.584 + 0.465 * TM$$

Ecuación 7: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Nechí.

$$LE = 34.834 + 0.407 * TM$$

Ecuación 8: Modelo lineal que describe la relación entre LE y TM en Cicuco.

$$LE = 34.923 + 0.455 * TM$$

Tabla 29: Coeficientes de los modelos lineales para cada lugar de estudio.

Lugar de estudio	Parámetro	Mínimos Cuadrados	ER	Estadístico T	Valor-P
1	Intercepto	53.548	8.407	6.369	> 0.0001
	Pendiente	0.097	0.133	0.732	0.471
2	Intercepto	46.869	2.004	23.389	> 0.0001
	Pendiente	0.403	0.028	14.613	> 0.0001
3	Intercepto	41.584	1.634	25.456	> 0.0001
	Pendiente	0.465	0.023	20.274	> 0.0001
4	Intercepto	34.834	1.989	17.508	> 0.0001
	Pendiente	0.407	0.032	12.409	> 0.0001
5	Intercepto	34.923	2.257	15.476	> 0.0001
	Pendiente	0.455	0.042	10.812	> 0.0001

En La Dorada el valor-P es mayor a 0.05, luego no hay una relación estadísticamente significativa entre TM y LE con el 95%. Para Barrancabermeja, Magangué, Nechí y Cicuco el valor-P es menor que 0.05 y existe una relación entre TM y LE con el 95% (Tabla 30).

Tabla 30: Análisis e varianza.

Lugar de estudio	Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
1	Modelo	145.681	1	145.681	0.54	0.471
	Residuo	6520.71	24	271.696	-	-
	Total (Corr.)	6666.4	25	-	-	-
2	Modelo	34596.4	1	34596.4	213.54	> 0.0001
	Residuo	47307.5	292	162.012	-	-
	Total (Corr.)	81903.8	293	-	-	-

Lugar de estudio	Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
3	Modelo	56133.1	1	56133.1	411.04	> 0.0001
	Residuo	49026.8	359	136.565	-	-
	Total (Corr.)	105160.	360	-	-	-
4	Modelo	14950.0	1	14950	153.99	> 0.0001
	Residuo	28155.4	290	97.0876	-	-
	Total (Corr.)	43105.4	291	-	-	-
5	Modelo	13513.9	1	13513.9	116.89	> 0.0001
	Residuo	34452.2	298	115.611	-	-
	Total (Corr.)	47966.1	299	-	-	-

En La Dorada el R^2 indica que el modelo explica el 2% de la variabilidad en LE. El coeficiente de correlación igual a 0.148, muestra una relación débil entre las variables. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan los datos. Para DW el valor-P es mayor a 0.05, luego no hay una correlación serial entre los residuos con el 95% de confianza (Tabla 31).

En Barrancabermeja el R^2 indica que el modelo explica 42% de la variabilidad. El coeficiente de correlación es igual a 0.649, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El valor-P de DW es menor que 0.05, luego hay una posible correlación serial (Tabla 31).

En Magangué se explica el 11% de la variabilidad, el coeficiente de correlación es 0.731, siendo una relación moderadamente fuerte entre las variables. El valor-P de DW es menor que 0.05, luego hay es posible una correlación serial (Tabla 31).

En Nechí se explica el 35% de la variabilidad. El coeficiente de correlación es 0.589, siendo una relación moderadamente fuerte entre las variables. El valor-P de DW es mayor que 0.05, luego no hay una auto-correlación serial (Tabla 31).

En Cicuco se explica el 28% de la variabilidad. El coeficiente de correlación es igual a 0.531, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El valor-P de DW es menor a 0.05, indicando una posible correlación serial (Tabla 31).

Tabla 31: Parámetros del modelo lineal entre LE y TM.

Lugar	Coef Correlación	R^2 (%)	ERE	MAE	DW	Valor-P
1	0.148	2.19	16.483	13.119	1.541	0.095
2	0.649	42.12	12.728	9.011	1.451	> 0.0001
3	0.731	53.436	11.686	8.747	1.626	0.0002
4	0.589	34.692	9.853	7.789	1.294	0.359
5	0.531	28.196	10.752	8.487	1.263	0.0001

En la figura 18 se muestra la función lineal para cada lugar de muestreo.

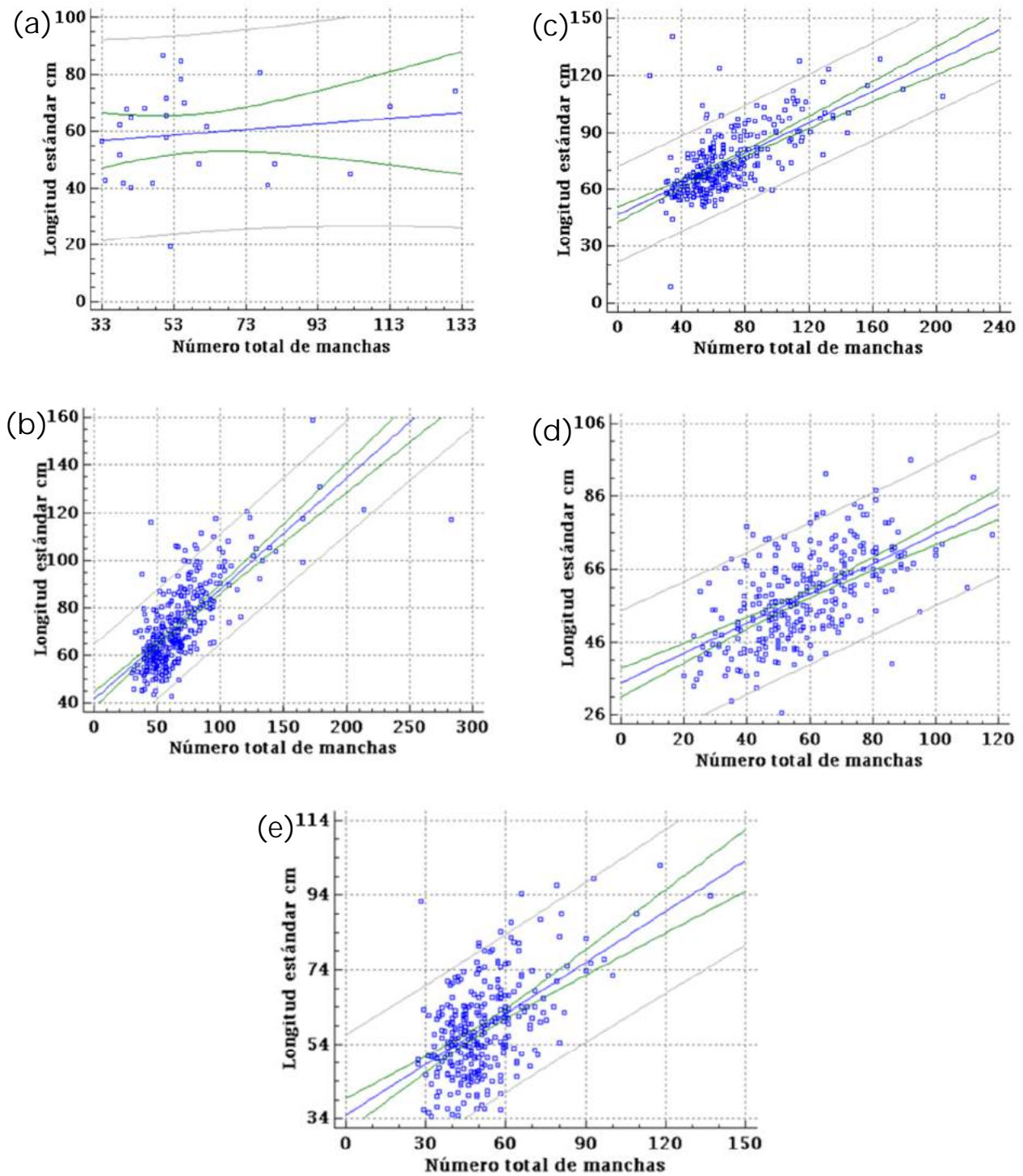


Figura 18: Gráfico del modelo ajustado entre la longitud estándar (LE) y el número total de manchas (TM) en: (a) La Dorada (b) Barrancabermeja (c) Magangué (d) Nechí y (e) Cicuco.

Análisis de las manchas y el sexo

La proporción de sexos fue desigual, con 58% hembras y 42% machos. Se presentaron más machos que hembras en el intervalo de tamaño 1 (Tabla 32) y más hembras que machos en los demás intervalos. En el intervalo de tamaño 2 se registró el mayor número de individuos con 55% de hembras y el 45% de machos. La mayoría de los ejemplares registrados con intervalos de tamaños 3 y 4 eran hembras (Tabla 32 y Figura 19).

Tabla 32: Proporción de sexos y el tamaño.

Código de tamaño	ni ♀	ni ♂	ni	♀ (%)	♂ (%)
1	57	112	169	34	66
2	483	396	879	55	45
3	154	19	173	89	11
4	49	3	52	94	6
ni	743	530	1273	58	42

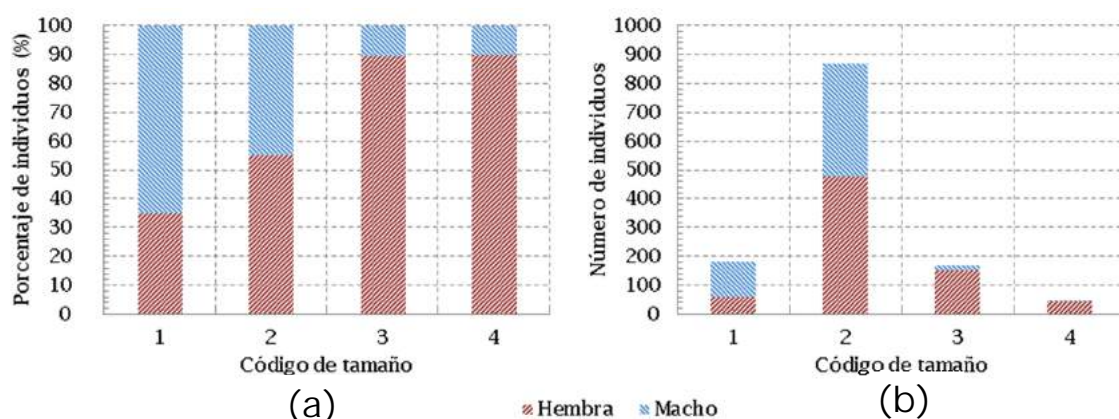


Figura 19: Proporción de sexo y el tamaño (a) porcentaje (b) número de individuos.

En la Dorada y Barrancabermeja se registraron más machos que hembras, contrario al resto de los lugares (Tabla 33 y Figura 20).

Tabla 33: Proporción de sexo y el lugar de estudio.

Código del lugar	ni ♀	ni ♂	ni	♀ (%)	♂ (%)
1	7	19	26	27	73
2	144	150	294	49	51
3	167	133	300	56	44
4	246	115	361	68	32
5	179	113	292	61	39
ni	743	530	1273	58	42

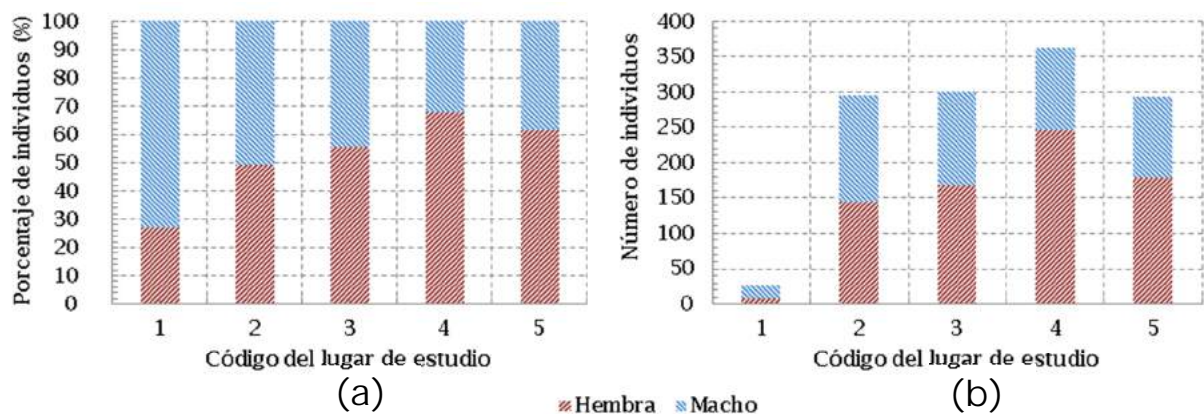


Figura 20: Proporción de sexo y el lugar de estudio (a) Porcentaje (b) Número de individuos.

La proporción de sexos durante los períodos hidrológicos es desigual. El mayor porcentaje de machos fue durante los periodos 2 y 3. Estos períodos coinciden con el fin del ciclo hidrológico I y el comienzo del II. La cantidad de hembras tiende a disminuir durante el ciclo I y aumenta en el II. La cantidad de machos tiene a aumentar durante la mitad del año (final del ciclo I e inicio del II), pero disminuye durante el comienzo y fin del año (final del ciclo II e inicios del I) (Figura 17). El número de hembras es mayor en los períodos 4 y 3 (Tabla 34 y Figura 21).

Tabla 34: Proporción de sexos y el período hidrológico del río Magdalena.

Período hidrológico	ni ♀	ni ♂	ni	♀ (%)	♂ (%)
1	149	102	251	59	41
2	155	141	296	52	48
3	200	163	363	55	45
4	239	124	363	66	34
ni	743	530	1273	58	42

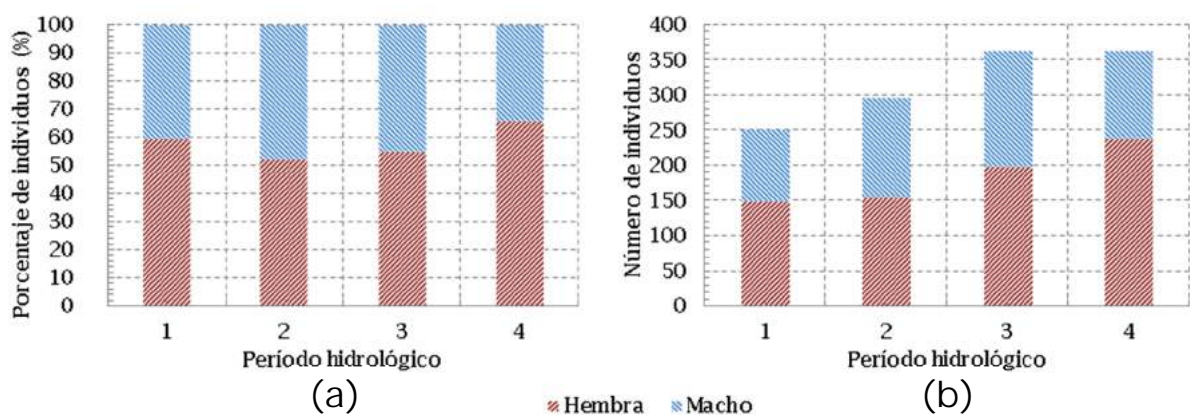


Figura 21: Proporción de sexos y el período hidrológico (a) Porcentaje (b) Número de individuos.

Tabla 35: Resumen estadístico para la longitud estándar y el sexo.

Sexo	Estadístico	Variable					
		LE	TL	TB	TR	TBu	TM
♂	\bar{X}	58.551	28.625	12.111	2.26	8.392	51.389
	ES	0.499	0.523	0.256	0.115	0.188	0.662
	S	11.495	12.038	5.904	2.643	4.327	15.239
	CV (%)	19.632	42.054	48.746	116.908	51.563	29.654
	Mínimo	30	6	1	0	0	20
	Máximo	114	152	39	43	25	204
	Rango	84	146	38	43	25	184
	Sesgo Estand.	6.638	25.687	12.692	72.005	3.147	24.26
	Curtosis Estand.	9.358	102.318	10.799	508.228	-0.204	92.128
♀	\bar{X}	71.487	41.329	14.363	2.26	9.386	67.798
	ES	0.638	0.523	0.288	2.346	0.175	0.942
	S	17.389	20.499	7.863	0.086	4.76	25.674
	CV (%)	24.326	49.599	54.744	86.275	50.713	37.868
	Mínimo	37	4	1	0	0	25
	Máximo	159	217	97	21	29	283
	Rango	122	213	96	21	29	258
	Sesgo Estand.	9.403	213	33.707	21.032	5.182	23.387
	Curtosis Estand.	8.122	26	115.588	43.168	1.609	52.582

En las pruebas de U de Mann-Whitney (Wilcoxon) y Kruskal-Wallis, el valor-P es menor a 0.05, luego existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los dos sexos con 95% de confianza (Tabla 36 y 37).

Tabla 36: Prueba de U de Mann-Whitney.

Variable	Código del sexo	\bar{X}	Rango promedio	W	Valor-P
TL	1	28	470.358	285216	<0.0001
	2	37	755.87		
TB	1	110	562.37	236449	<0.0001
	2	13	690.236		
TR	1	2	587.74	223003	<0.0001
	2	2	672.139		
TBu	1	8	594.708	219310	<0.0001
	2	9	667.168		
TM	1	50	468.862	286008	<0.0001
	2	63	756.937		

Tabla 37: Prueba de Kruskal -Wallis del sexo y el número total de manchas según su forma.

Variable	Cód. del sexo	\bar{X}	\bar{X}	s	Rango promedio	H	Valor-P
TL	1	12.18	11	6.11	471.87	36.22	<0.0001
	2	14.32	13	7.76	755.17		
TB	1	2.27	2	2.65	563.7	15.57	0.0001
	2	2.71	2	2.34	689.46		
TR	1	8.4	8	4.32	563.7	11.88	0.0006
	2	9.39	9	4.76	689.46		
TBu	1	51.82	50	18.24	595.01	187.14	<0.0001
	2	67.51	62.5	24.44	667.05		
TM	1	28.98	28	14.54	470.38	183.81	<0.0001
	2	41.09	37	19.47	756.24		

Para determinar cuáles medianas fueron significativamente diferentes de otras, se hizo el gráfico de medianas (Figura 22). Las hembras poseen una mayor cantidad de manchas (lunares, barras y bucles), aunque existe una diferencia estadísticamente significativa en el número total de rayas dicha diferencia no es apreciada en la gráfica (Figura 22C).

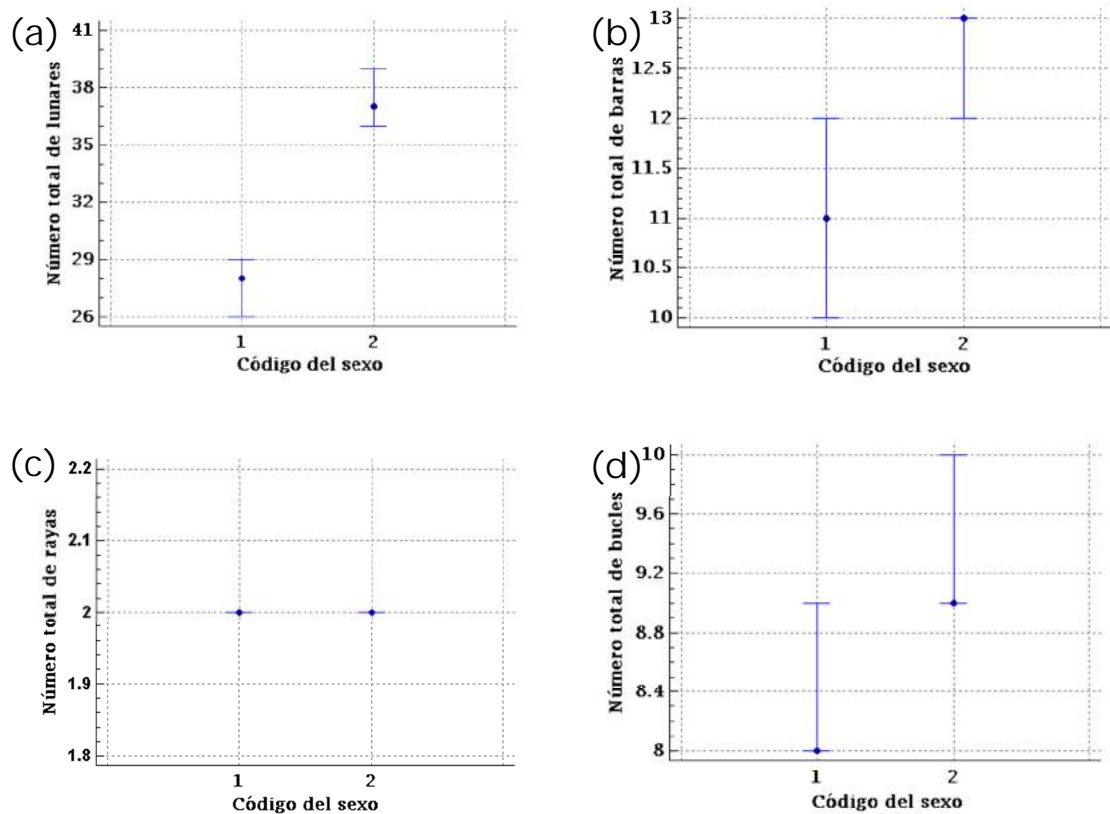


Figura 22: Gráfico de medianas: Y= código del sexo y X= (a) TL (b) TB (c) TR (d) TBu.

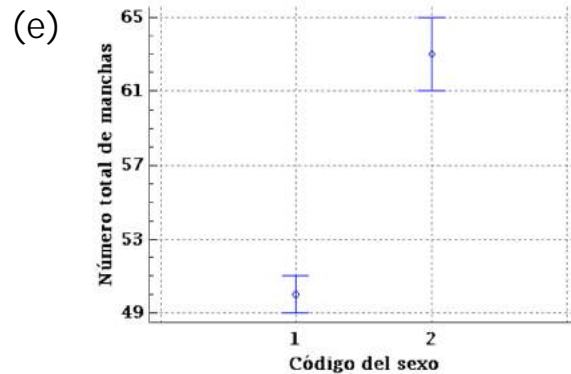


Figura 22: Gráfico de medianas: Y= código del sexo y (e) X= TM. El círculo indica la mediana. Los bigotes son el intervalo de confianza del 95%.

En el análisis de regresión logística del sexo, siendo CS=0 equivalente al código 1 (Macho) y CS=1 equivalente al código 2 (Hembra), se obtiene una clasificación inicial (Tabla 38), la cual no incluye las variables en el modelo y señala que el modelo en sí explica el 60.6 % de la variación de los datos. La constante se incluye en el modelo. El valor de corte es 0.5.

Tabla 38: Clasificación del modelo de la regresión binomial sin las variables independientes.

Observado		Pronosticado		
		0	1	Porcentaje correcto
CS	0	0	415	0
	1	0	637	100
Porcentaje global		-	-	60.6

El modelo es significativo bajo el estimador Wald, es decir que el modelo sin variables es diferente del modelo que incluye las variables a probar y que permiten clasificar si un individuo es macho o hembra (Tabla 39 y Tabla 64 anexo A).

Tabla 39: Variables en la ecuación de la regresión binomial.

	B	Error estándar	Wald	GI	Valor-P	Exp(B)
Constante	0.428	0.063	46.138	1	<0.0001	1.535

La prueba de significación de Chi-cuadrado del modelo (Tabla 40), muestra que la significancia es menor a 0.05, lo que indica que el modelo ayuda a explicar el sexo.

Tabla 40: Pruebas ómnibus de coeficientes de modelo de la regresión binomial.

	X ²	GI	Valor-P
Paso	237.338	5	<0.0001
Bloque	237.338	5	<0.0001
Modelo	237.338	5	<0.0001

En el resumen del modelo (Tabla 41) se puede observar el valor del R^2 de Cox y de Nagelkerke. Ambos R^2 indican el porcentaje de la varianza presentada en el sexo que está siendo explicada por el modelo; en este caso se explica entre el 20.2% (Cox & Snell R^2) y el 27.3% (Nagelkerke R^2).

Tabla 41: Resumen del modelo de la regresión binomial.

Logaritmo de la verosimilitud -2	R^2 de Cox & Snell	R^2 de Nagelkerke
1173.842 ^a	0.202	0.273

Para evaluar la bondad de ajuste del modelo, se realiza la prueba de Hosmer y Lemeshow. Este procedimiento comprueba si el modelo propuesto permite explicar lo que se observa; se evalúa la distancia que existe entre el valor observado y el esperado. El valor-P es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula del ajuste del modelo; es decir, los datos esperados se ajustan a los observados (Tabla 42 y Tabla 65 anexo A).

Tabla 42: Prueba de Hosmer y Lemeshow.

X^2	GI	Valor-P
10.853	8	0.210

En tabla 43 se muestra el porcentaje de datos clasificados de manera correcta, al igual que el porcentaje global; este porcentaje indica el número de casos que el modelo es capaz de predecir de manera correcta. En este caso el modelo clasifica de manera correcta el 69% de los casos, puede predecir más del 50% de los casos, el modelo es aceptable.

Tabla 43: Clasificación del modelo de regresión logística binomial.

Observado		Pronosticado	
		CS	Porcentaje correcto
CS	0	238	57.3
	1	146	77.1
Porcentaje global		-	69.3

En tabla 44 se observa que las variables LE, TL y TB explican de manera significativa (valor-P menor a 0.05) la probabilidad de que un individuo sea macho o hembra. Con base en el signo que posee el coeficiente B, se afirma que: a mayor longitud estándar, mayor número total de lunares y menor número de barras, mayor probabilidad de que el individuo sea una hembra.

El número total de rayas y bucles no poseen valor significativo (Valor-P mayor a 0.05) para el modelo, entonces no permiten predecir la probabilidad de que un individuo sea macho o hembra. Tanto LE como TL son de gran importancia al momento de explicar el sexo (Exp (B) 1.065 y 1.056 respectivamente).

Tabla 44: Variables en la ecuación del modelo de regresión logística binomial.

Variables	B	ER	Wald	GI	Valor-P	Exp(B)
LE	0.063	0.008	56.585	1	<0.0001	1.065
TL	0.054	0.007	62.367	1	<0.0001	1.056
TB	-0.042	0.014	9.214	1	0.002	0.959
TR	0.036	0.035	1.070	1	0.301	1.037
TBu	0.028	0.017	2.672	1	0.102	1.028
Constante	-5.338	0.509	109.931	1	<0.0001	0.005

El modelo ajustado se muestra en la ecuación 9, en donde la probabilidad de que el código del sexo asuma un valor 1 (es decir que sea macho) o 2 (es decir que sea hembra) está dada por una función logarítmica binaria (Figura 36 anexo A).

Ecuación 9: Modelo de regresión logística binomial para predecir sexo.

$$P(\text{Código sexo} = 1) = \frac{e^{-5.338 + (0.063 \cdot LE) + (0.054 \cdot TL) + (-0.042 \cdot TB)}}{1 + e^{-5.338 + (0.063 \cdot LE) + (0.054 \cdot TL) + (-0.042 \cdot TB)}}$$

Análisis de las manchas y el lugar de estudio

De acuerdo con el conteo del número de ejemplares registrados (Tabla 5), se tiene una mayor capacidad de análisis para Nechí, Magangué, Cicuco y Barrancabermeja, pero no en la Dorada pues representa el 2% del total de individuos muestreados (Figura 23).

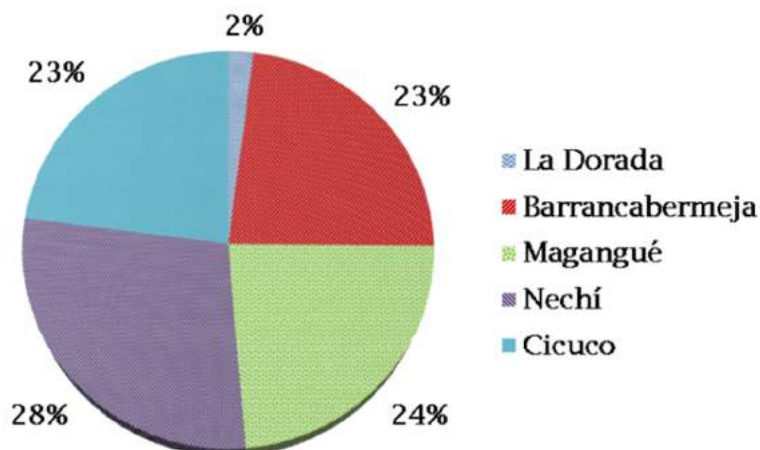


Figura 23: Porcentaje de individuos en cada lugar de estudio.

En la tabla 45 se muestra el resumen estadístico de la longitud estándar y el número de manchas según su forma en cada uno de los 5 lugares de estudio. La variable TR es la más heterogénea de todas las variables, mientras que la más homogénea de todas es la variable LE. Para la Dorada y Magangué la segunda variable más heterogénea es TBu (65.96% y 50.59% respectivamente); para Barrancabermeja es TB (57.78%); para Nechí y Cicuco es TL (53.99 % y 41.75 % respectivamente).

Tabla 45: Resumen estadístico de las variables cuantitativas según el lugar de estudio.

Código del lugar	Estadístico	Carácter					
		LE	TL	TB	TR	TBu	TM
1	\bar{X}	61.154	38.54	12.92	1.19	5.88	58.54
	ER	2.793	4.452	0.916	0.192	0.761	4.875
	s	14.239	22.7	4.67	0.98	3.88	24.86
	CV (%)	23.285	58.91	36.16	82.24	65.96	42.48
2	\bar{X}	74	38.12	17.38	2.4	9.62	67.52
	ER	0.934	1.247	0.586	0.116	0.305	1.574
	s	16.013	21.38	10.04	1.99	5.23	26.98
	CV (%)	21.628	56.09	57.78	82.81	54.37	39.95
3	\bar{X}	58.443	31.18	10.69	1.85	7.79	51.51
	ER	0.731	0.721	0.247	0.115	0.227	0.852
	s	12.665	12.49	4.27	1.99	3.94	14.76
	CV (%)	21.67	40.05	39.97	107.53	50.59	28.66
4	\bar{X}	361	40.37	13.96	3.25	8.42	66.01
	ER	0.914	1.147	0.353	0.138	0.233	1.414
	s	17.366	21.8	6.71	2.62	4.42	26.87
	CV (%)	23.992	53.99	48.07	80.62	52.53	40.7
5	\bar{X}	58.651	33.36	11.64	2.57	10.5	58.06
	ER	0.704	0.815	0.271	0.176	0.252	1.031
	s	12.029	13.92	4.63	3	4.3	17.61
	CV (%)	20.51	41.75	39.75	116.68	40.93	30.33

En cuanto al número de manchas, es posible identificar que en todos los lugares de estudio se encuentra un patrón con un gran número de lunares, seguido por barras, bucles y por ultimo las rayas siendo estas raras y en menor número (Figura 24).

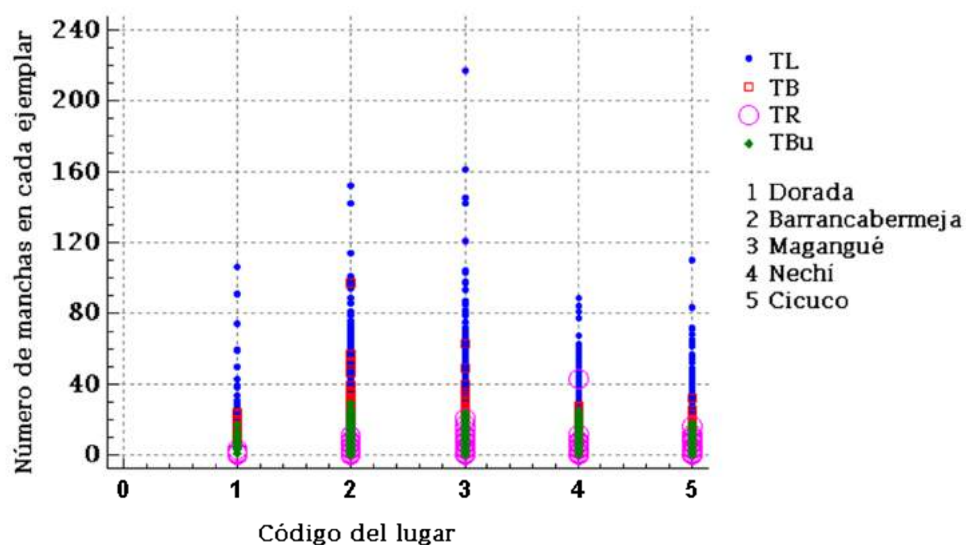


Figura 24: Diagrama de dispersión del número de manchas según el lugar de estudio.

En la prueba de Kruskal-Wallis el valor-P es menor a 0.05 luego existe una diferencia estadísticamente significativa entre el número de manchas según su forma y los lugares con el 95% de confianza (Tabla 46).

Tabla 46: Prueba de Kruskal Wallis para las variables cuantitativas según el lugar de estudio.

Variable	Código del lugar	\bar{X}	\bar{x}	S	Rango promedio	GI	H	Valor-P
TL	1	38.54	31	22.7	630.25	4	46.94	<0.0001
	2	38.12	33	21.4	658.02			
	3	31.18	29	12.5	535.96			
	4	40.37	35	21.8	726.96			
	5	33.36	32	13.9	609.02			
TB	1	12.92	11.5	4.67	641.38	4	122.53	<0.0001
	2	17.38	16.5	10	800.89			
	3	10.69	10	4.27	492.31			
	4	13.96	12	6.71	683.42			
	5	11.64	11	4.63	562.87			
TR	1	1.19	1	0.98	398.21	4	86.8	<0.0001
	2	2.4	2	1.99	627.18			
	3	1.85	1	1.99	510.39			
	4	3.25	3	2.62	759.08			
	5	2.57	2	3	647.3			
TBu	1	5.88	5.5	3.88	378.73	4	73.32	<0.0001
	2	9.62	9	5.23	672.31			
	3	7.79	8	3.94	549.72			
	4	8.42	8	4.42	594.81			
	5	10.5	11	4.3	766.28			
TM	1	58.54	51	24.9	550.35	4	106.44	<0.0001
	2	67.52	61	27	735.25			
	3	51.51	49	14.8	464.36			
	4	66.01	61	26.9	717.78			
	5	58.06	56	17.6	623.3			

En el gráfico de medianas se observa: para los lunares, Barrancabermeja y Nechí tienen semejanzas entre sí pero se diferencian de Magangué y Cicuco por sus individuos con un menor número de lunares (Figura 25A). Para los barras, Barrancabermeja tiene ejemplares con el mayor número y se diferencia del resto de los lugares (Figura 25B). Para las rayas, hay semejanza entre Barrancabermeja y Nechí del resto de los lugares, pero la gráfica no es clara (Figura 25C). Para los bucles, Cicuco es el lugar con ejemplares con el mayor número y se diferencia de los demás lugares (Figura 25D). Para el número total de manchas, Magangué se diferencia del resto de los lugares siendo el lugar con ejemplares con el menor número de manchas (Figura 25E).

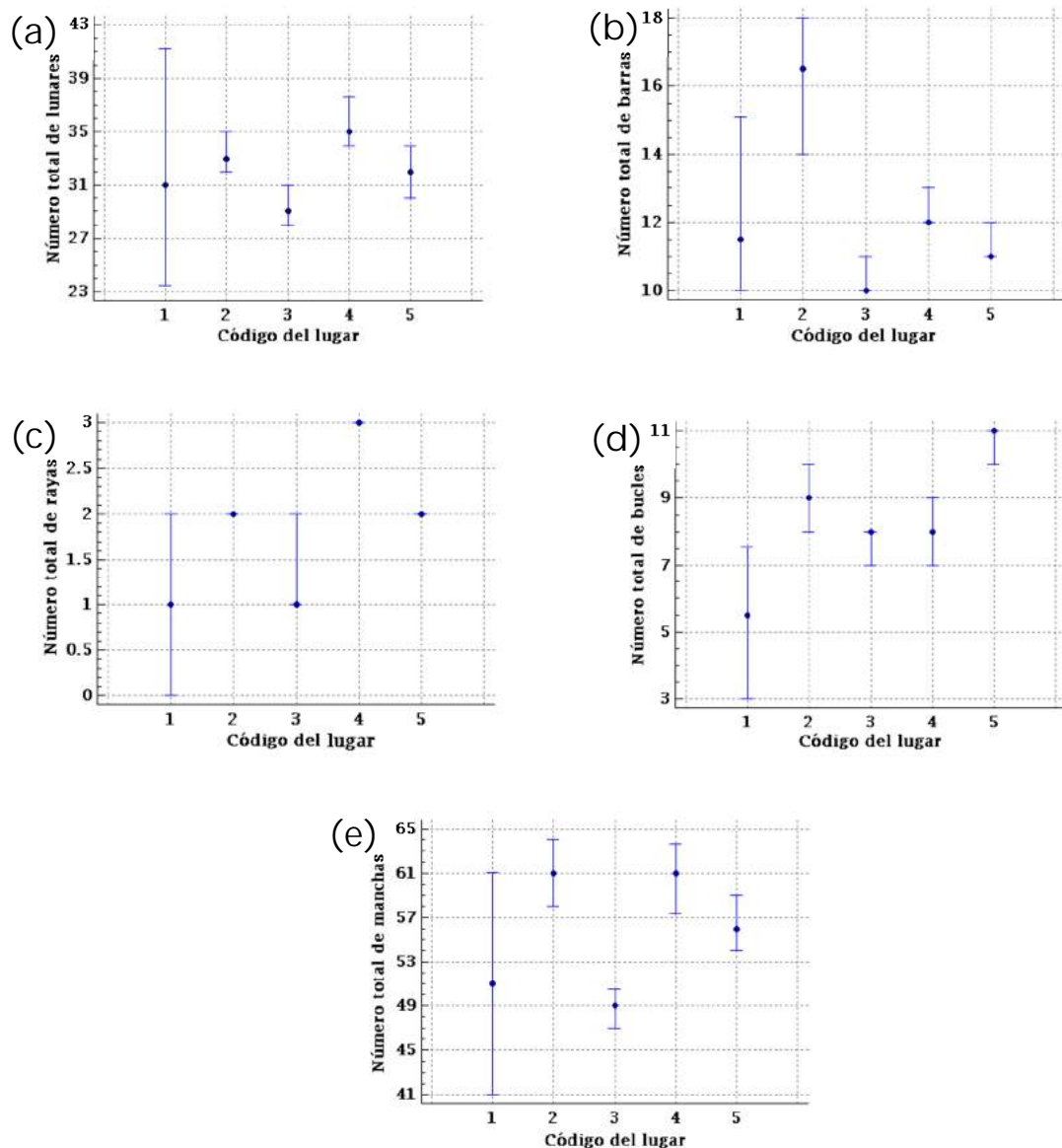


Figura 25: Gráfico de medianas para el cada clase de mancha según su forma y el código de lugar (a) número total de lunares (b) número total de barras (c) número total de rayas (d) número total de bucles E) número total de manchas. El círculo representa la mediana. Los bigotes son el intervalo de confianza del 95%.

La prueba de medianas de Mood se basa en el conteo del número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual para las variables: TL es igual a 32, TB es igual a 12, TR es igual a 2, TBu es igual a 9 y TM es igual a 56.

El valor-P es menor que 0.05, en todas las variables analizadas en esta prueba, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95% (Tabla 47).

Tabla 47: Prueba de Mood para las variables cualitativas según el lugar de estudio.

Variable	Cód. lugar	n	n≤	n>	\bar{X}	IC inf.	IC sup.	Gran \bar{X}	X^2	Valor-P
TL	1	26	15	11	31	23.452	41.192	32	34.349	<0.0001
	2	294	140	33	33	32	35			
	3	300	190	29	29	28	31			
	4	361	148	35	35	34	37.632			
	5	292	149	32	32	30	34			
TB	1	26	14	12	11.5	10	15.096	12	77.811	<0.0001
	2	294	107	187	16.5	14	18			
	3	300	212	88	10	10	11			
	4	361	182	179	12	12	13			
	5	292	178	114	11	11	12			
TR	1	26	24	2	1	0	2	2	79.782	<0.0001
	2	294	177	117	2	2	2			
	3	300	220	80	1	1	2			
	4	361	152	209	3	3	3			
	5	292	172	120	2	2	2			
TBu	1	26	22	4	5.5	3	7.548	9	58.793	<0.0001
	2	294	153	141	9	8	10			
	3	300	197	103	8	7	8			
	4	361	219	142	8	7	9			
	5	292	114	178	11	10	11			
TM	1	26	18	8	51	41	61.096	56	66.892	<0.0001
	2	294	119	175	61	58	64			
	3	300	208	92	49	47	50.489			
	4	361	154	207	61	57.368	63.632			
	5	292	147	145	56	54	59			

En la regresión logística multinomial excluyendo La Dorada se muestra el resumen del proceso, considerando el número de casos (N) y el porcentaje de subpoblaciones. El índice a indica que la variable dependiente tiene un valor observado de 1247 (100%) subpoblaciones (Tabla 48).

Tabla 48: Resumen del procesamiento de los casos de la regresión logística multinomial.

Variables		N	Porcentaje marginal
Código del lugar	2	294	23.6
	3	300	24.1
	4	361	28.9
	5	292	23.4
Período	1	251	20.1
	2	287	23
	3	346	27.7
	4	363	29.1

Variables		N	Porcentaje marginal
Código del sexo	1	511	41
	2	736	59
Válidos		1247	100
Perdidos		0	-
Total		1247	-
Subpoblación		1247 ^a	-

La prueba del ajuste de los modelos comprueba la hipótesis de la igualdad entre el modelo nulo y el final (el nulo no incluye variables independientes y el final incluye todas las variables). El valor-P es menor a 0.05 y la hipótesis nula es rechazada (Tabla 49).

Tabla 49: Ajuste de los modelos en la regresión logística multinomial.

Modelo	Criterios de ajuste de modelo	Pruebas de la razón de verosimilitud		
	Logaritmo de la verosimilitud -2	X ²	GI	Valor-P
Sólo intersección	3447.26	-	-	-
Final	2748.602	698.658	27	<0.0001

El modelo final es más significativo que el modelo nulo, para poder predecir el lugar de estudio. El modelo final plantea que las variables independientes permiten estimar la probabilidad de que un ejemplar pertenezca a alguno de los lugares. En la tabla 50 se muestra el X² de Pearson y la desviación cuyo valor-P es mayor a 0, siendo el modelo adecuadamente ajustado.

Tabla 50: Bondad de ajuste del modelo en la regresión logística multinomial.

	X ²	GI	Valor-P
Pearson	3673.183	3711	0.667
Desviación	2748.602	3711	1

En la tabla 51 se muestra el porcentaje de varianza que es explicado, siendo un porcentaje entre 20% (McFadden Pseudo R²) a 46% (Cox Snell Pseudo R²).

Tabla 51: Pseudo R cuadrado para la regresión logística multinomial.

R ²	
Cox & Snell	0.429
Nagelkerke	0.458
McFadden	0.203

En la prueba de la razón de verosimilitud se muestra el estadístico X², que para esta prueba es la diferencia de la log-verosimilitud -2 entre el modelo final y el modelo reducido (el reducido omite el efecto del modelo final).

La hipótesis nula es que todos los parámetros de dicho efecto son 0. Esta hipótesis es rechazada, luego las variables independientes aportan de manera significativa al modelo y son variables predictoras del lugar de estudio.

Tabla 52: Pruebas de la razón de verosimilitud.

Efecto	Criterios de ajuste de modelo		Pruebas de verosimilitud		
	Logaritmo de la verosimilitud -2 de modelo reducido		X ²	GI	Valor-P
Intersección	2748.602		0	0	-
LE	2976.168		227.566	3	<0.0001
TL	2768.84		20.238	3	<0.0001
TB	2850.821		102.219	3	<0.0001
TR	2799.764		51.162	3	<0.0001
TBu	2860.82		112.218	3	<0.0001
Período	2817.702		69.1	9	<0.0001
Cód. del sexo	2829.175		80.573	3	<0.0001

En las estimaciones de parámetro, el índice b indica que el parámetro es establecido en cero por ser redundante. En el modelo, las estimaciones de los parámetros son relativas a la categoría de referencia (Cicuco, índice a). Se espera que el logit multinomial (función logística) de Cicuco cambie por su respectiva estimación de parámetros (la unidad es log-odds o riesgo relativo logarítmico) (Tabla 53).

Tabla 53: Estimaciones de parámetro en la regresión logística multinomial.

Código del lugar ^a	B	ER	Wald	GI	Valor-P	Exp(B)	95% de intervalo de confianza Exp(B)	
							Límite inferior	Límite superior
Intersección	-7.791	0.685	129.496	1	<0.0001	-	-	-
LE	0.125	0.011	133.15	1	<0.0001	1.133	1.109	1.157
TL	-0.034	0.008	18.632	1	<0.0001	0.967	0.952	0.982
TB	0.071	0.02	12.805	1	<0.0001	1.073	1.032	1.116
TR	-0.085	0.046	3.38	1	0.066	0.919	0.839	1.006
TBu	-0.086	0.023	13.919	1	<0.0001	0.918	0.877	0.96
[Período=1]	1.444	0.307	22.053	1	<0.0001	4.237	2.319	7.741
[Período=2]	-0.446	0.28	2.541	1	0.111	0.64	0.37	1.108
[Período=3]	-0.316	0.256	1.516	1	0.218	0.729	0.441	1.205
[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
[Código del sexo=1]	1.813	0.231	61.511	1	<0.0001	6.128	3.895	9.64
[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-

Código del lugar ^a		B	ER	Wald	GI	Valor-P	Exp(B)	95% de intervalo de confianza Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
3	Intersección	1.828	0.62	8.695	1	0.003	-	-	-
	LE	0.038	0.01	13.76	1	<0.0001	1.038	1.018	1.059
	TL	-0.014	0.008	3.098	1	0.078	0.986	0.97	1.002
	TB	-0.116	0.023	25.725	1	<0.0001	0.891	0.852	0.931
	TR	-0.217	0.047	21.08	1	<0.0001	0.805	0.734	0.883
	TBu	-0.198	0.023	70.969	1	<0.0001	0.821	0.784	0.859
	[Período=1]	0.802	0.304	6.966	1	0.008	2.23	1.229	4.046
	[Período=2]	-0.613	0.253	5.854	1	0.016	0.542	0.33	0.89
	[Período=3]	0.068	0.229	0.087	1	0.768	1.07	0.683	1.677
	[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Código del sexo=1]	0.129	0.195	0.435	1	0.51	1.137	0.776	1.667
	[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
4	Intersección	-5.11	0.609	70.33	1	<0.0001	-	-	-
	LE	0.114	0.01	125.584	1	<0.0001	1.12	1.098	1.143
	TL	-0.017	0.007	5.546	1	0.019	0.983	0.969	0.997
	TB	-0.037	0.02	3.381	1	0.066	0.964	0.927	1.002
	TR	0.066	0.034	3.852	1	0.05	1.068	1	1.141
	TBu	-0.184	0.022	66.797	1	<0.0001	0.832	0.796	0.870
	[Período=1]	1.436	0.3	22.884	1	<0.0001	4.205	2.335	7.575
	[Período=2]	0.448	0.249	3.227	1	0.072	1.565	0.96	2.552
	[Período=3]	0.29	0.236	1.511	1	0.219	1.337	0.841	2.125
	[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Código del sexo=1]	0.572	0.206	7.684	1	0.006	1.771	1.182	2.654
	[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-

Algunas de las interpretaciones de estos resultados para el caso de Barrancabermeja comparado con Cicuco son:

- El coeficiente B en la intersección, es la estimación del logit para Barrancabermeja vs (versus) Cicuco cuando las variables predictoras en el modelo son evaluadas en cero. Para los machos (se asume que no hay hembras), el primer periodo y con valores en cero para LE, TL, TR y TBU, el valor logit para que el ejemplar sea de Barrancabermeja y no de Cicuco es de -7.791.
- El coeficiente B para LE (Barrancabermeja vs. Cicuco), dado que las otras variables son constantes, muestra que si se aumenta la longitud en una unidad se esperaría un aumento de 0.125 en los valores log-odds para que el ejemplar sea de Barrancabermeja y no de Cicuco (signo positivo del coeficiente).

- El aumento en una unidad de TB se asocia a un aumento de 0.071 en los valores relativo de log-odds en Barrancabermeja vs Cicuco.
- En el Período, es posible afirmar que los valores relativos log-odds en Barrancabermeja vs. Cicuco aumentarán por 1.444 si el registro del ejemplar es del último período (Período=4).
- En el código de sexo=1, es decir los machos, el valor logit muestra que si el ejemplar es macho es 1.813 más probable que sea de Barranca y no de Cicuco.

La proporción de la probabilidad de que un resultado este en una categoría del lugar sobre la probabilidad de la categoría de referencia (Cicuco), se refiere al riesgo relativo y a la probabilidad de ocurrencia de un evento (el ejemplar pertenece a uno de los 4 lugares). Los coeficientes de regresión logística multinomial (Exp (B)) representan el cambio en el riesgo relativo logarítmico (log-odds) por unidad de cambio en la variable predictora. Los valores de Exp (B) dan relaciones de riesgo relativo. Algunas interpretaciones son:

- El aumento en una unidad de LE aumenta en 1.133 veces el riesgo de que el ejemplar sea de Barrancabermeja y no de Cicuco.
- En el período, el Exp (B) muestra que el riesgo de que el ejemplar sea de Barrancabermeja y no de Cicuco, aumenta 4.237 veces si el registro es del período 4.
- En LE, el Exp (B) muestra que si un ejemplar posee grandes longitudes, es 0.114 veces por unidad de LE, más probable que el ejemplar sea de Barrancabermeja o de Nechí.
- En TL, el Exp (B) muestra que si el ejemplar posee muchos lunares disminuye el riesgo de que sea de Barrancabermeja. Es importante señalar que cuando se compara Magangué y Cicuco no hay un riesgo significativo por la variación en el número de lunares. En Nechí vs Cicuco el aumento del número de lunares implica la disminución del riesgo (en 0.017 por unidad) de que el ejemplar sea de Magangué.

En la tabla 54 se muestra el porcentaje con el que los datos han sido clasificados de forma correcta. Los valores en diagonal indican el número de datos pronosticados de forma correcta, siendo mayores al del resto de las columnas. El modelo clasificó el 51% de los datos y como es mayor al 50% de los datos es un modelo aceptable.

Tabla 54: Clasificación del modelo de regresión logística multinomial.

Observado	Pronosticado				Porcentaje correcto
	2	3	4	5	
2	156	35	78	25	53.1
3	21	153	57	69	51
4	65	70	179	47	49.6
5	25	71	47	149	51
Porcentaje global	21.4	26.4	28.9	23.3	51.1

El modelo ajustado para Barrancabermeja, Magangué y Nechí se observa en las ecuaciones 10, 11 y 12, y se proponen las fórmulas de probabilidad en las ecuaciones 13, 14, 15 y 16. La probabilidad de la razón P_i/P_k hace referencia a los valores probables (odds) que representan la oportunidad de un evento i que tiene la probabilidad de ocurrencia P_i respecto de su no ocurrencia o de la ocurrencia de otro evento con probabilidad P_k . En este sentido, la interpretación de los coeficientes B en la tabla 55 se realiza de acuerdo a cada modelo.

Ecuación 10: Modelo de regresión logística multinomial para Barrancabermeja.

$$e_1 = \frac{P_2}{P_5} = e^{-77.91(0.125L) + (-0.034T) + (0.074T) + (-0.086TB) + (1.44(Peido \Rightarrow)) + (8.12(Codse \Rightarrow)) = 1}$$

Ecuación 11: Modelo de regresión logística multinomial para Magangué.

$$e_2 = \frac{P_3}{P_5} = e^{1.828(0.038L) + (-0.116T) + (-0.0217 - 74R - 0.198TB) + (8.02(Peido \Rightarrow)) + (-60.18(Peido \Rightarrow)^2)}$$

Ecuación 12: Modelo de regresión logística multinomial para Nechí.

$$e_3 = \frac{P_4}{P_5} = e^{-51.11(0.114L) + (-0.014T) + (0.066T) + (-0.184TB) + (1.36(Peido \Rightarrow)) + (5.072(Codse \Rightarrow)) = 1}$$

Ecuación 13: Probabilidad de que el ejemplar sea de Barrancabermeja.

$$P(\text{Código del lugar} = 1) = \frac{e_1}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

Ecuación 14: Probabilidad de que el ejemplar sea de Magangué.

$$P(\text{Código del lugar} = 2) = \frac{e_2}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

Ecuación 15: Probabilidad de que el ejemplar sea de Nechí.

$$P(\text{Código del lugar} = 3) = \frac{e_3}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

Ecuación 16: Probabilidad de que el ejemplar sea de Cicuco.

$$P(\text{Código del lugar} = 4) = 1 - (P(\text{Cód del lugar} = 2) + P(\text{Cód del lugar} = 3) + P(\text{Cód del lugar} = 4))$$

Análisis de las manchas y el período hidrológico

Se registraron 251 ejemplares durante el período 1, 296 ejemplares durante el periodo 2, 363 registrados durante el periodo 3 y 4. Se analizaron un mayor número de registros de los períodos 3 y 4 o del ciclo hidrológico II del Magdalena (Tabla 5 y Figura 26).

Al igual que en los análisis del sexo y del lugar de estudio, se observó que la variable más heterogénea es TR y la más homogénea es TL. Las variables más heterogéneas en un segundo nivel son: TBu para el período 1 y 3, TB para el período 2 y TI para el período 4 (Tabla 55).

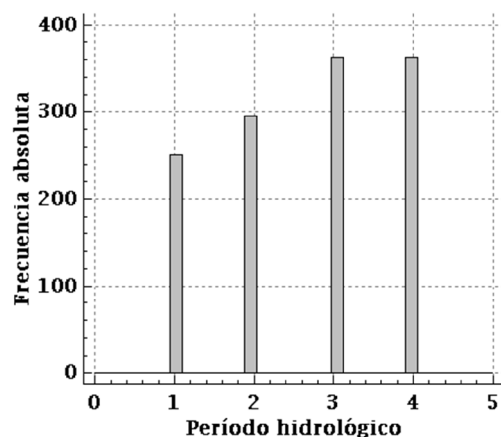


Figura 26: Histograma de frecuencia absoluta del período hidrológico.

Tabla 55: Resumen estadístico del Período hidrológico del Magdalena.

Período	Estadístico	Carácter					
		LE	TL	TB	TR	TBu	TM
1	\bar{X}	67.53	34.59	11.97	2.8	9.02	58.38
	ER	0.898	0.935	0.316	0.151	0.307	1.148
	S	14.22	14.82	5	2.39	4.86	18.19
	CV (%)	21.06	42.84	41.78	85.33	53.90	31.16
2	\bar{X}	62.41	30.85	13.07	2.34	8.63	54.91
	ER	0.593	0.966	0.528	0.142	0.266	1.329
	s	10.21	16.62	9.09	2.44	4.58	22.86
	CV (%)	30.78	53.86	69.53	104.03	53	41.63
3	\bar{X}	65	37.34	14.2	2.64	8.74	62.91
	s	16.38	19.46	7.38	2.93	4.57	24.44
	ER	0.86	1.021	0.387	0.154	0.24	1.283
	CV (%)	25.21	52.12	51.96	111.25	52.27	38.85
4	\bar{X}	68.96	39.97	13.95	2.38	9.45	65.75
	ER	0.821	1.069	0.334	0.107	0.235	1.293
	s	15.65	20.37	6.37	2.04	4.48	24.64
	CV (%)	22.69	50.96	45.65	85.62	47.35	37.48

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula de la igualdad entre las medianas dentro de cada una de las 6 variables (LE, TL, TB, TR, TBu y TM). El valor-P es menor a 0.05 en las variables: LE, TL, TB, TBu y TM.

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza. Sin embargo, el valor P es mayor a 0.05 para el número total de rayas (TR), luego no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas para esta variable a un nivel del 95% de confianza.

Tabla 56: Prueba de Kruskal-Wallis para el período hidrológico.

Variable	Cód. del lugar	\bar{X}	\bar{X}	s	Rango promedio	GI	H	Valor-P
LE	1	67.53	66	14.22	686.75	3	51.63	<0.0001
	2	62.41	58.5	19.21	525.71			
	3	65	63	16.38	611.21			
	4	68.96	67	15.65	719.14			
TL	1	11.97	11	5	620.75	3	23.25	<0.0001
	2	13.07	11	9.09	506.02			
	3	14.2	13	7.38	668.75			
	4	13.95	13	6.37	723.3			
TB	1	2.8	2	2.39	583.03	3	10.81	0.011
	2	2.34	2	2.44	577.5			
	3	2.64	2	2.93	673.88			
	4	2.38	2	2.04	685.95			
TR	1	9.02	9	4.86	686.34	3	7.62	0.054
	2	8.63	8	4.58	592.26			
	3	8.74	9	4.57	656.97			
	4	9.45	9	4.48	619.39			
TBu	1	58.38	54	18.19	641.67	3	60.09	<0.0001
	2	54.91	51	22.86	608.54			
	3	62.91	58	24.44	615.68			
	4	65.75	60	24.64	678.3			
TM	1	34.59	32	14.82	606.56	3	60.78	<0.0001
	2	30.85	28	16.62	511.2			
	3	37.34	34	19.46	674.48			
	4	39.97	35	20.37	723.16			

Para determinar cuáles medianas son significativamente diferentes de otras, se hizo el gráfico de medianas (Figura 27).

En el caso del número total de lunares, el período con menor mediana fue el 2 y el de mayor mediana fue el 4 (Figura 27A).

Para el número total de barras, los períodos 1 y 2 fueron iguales, pero con las menores medianas; mientras que los periodos 3 y 4 que son semejantes tienen mayores medianas (Figura 27B).

Para el número total de rayas, los periodos no presentaron diferencias significativas (Figura 27C).

Para el número total de bucles, el período 4 presenta diferencias con respecto a los periodos 2 y 3(Figura 27D). Para el número total de manchas, el período 2 presentó la menor mediana y en mayor medida los períodos: 1, 3 y 4 (Figura 27B).

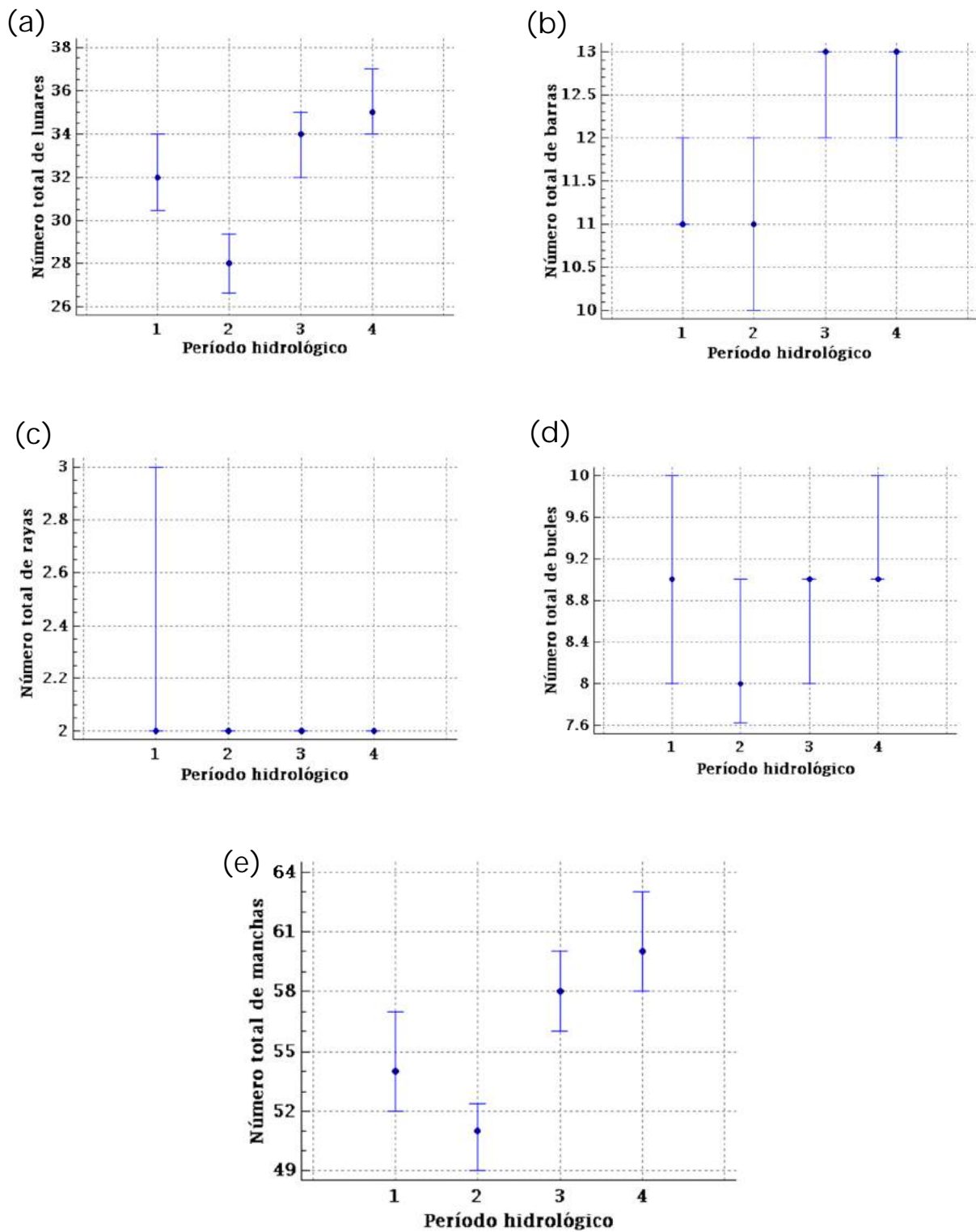


Figura 27: Gráfico de medianas del período hidrológico y (a) el número total de lunares (b) el número total de barras (c) el número total de rayas (d) el número total de bucles (e) el número total de manchas. EL círculo indica la mediana. Los bigotes son el intervalo de confianza del 95%.

Protocolos para la identificación del patrón de machas

Con base en la experiencia durante: la observación y análisis de los registros fotográficos, obtenidos por parte de las investigaciones de la Fundación humedales y que sirvieron para hacer esta investigación, se proponen los siguientes protocolos y recomendaciones para la identificación del patrón de manchas melánicas en *P. magdaleniatum*:

- 1) Estandarizar y planear el método de registro fotográfico. Teniendo en cuenta las condiciones bajo las cuales se realiza el muestreo. En este trabajo se observaron fotografías en condiciones naturales y no existió una estandarización acorde a los objetivos planteados. Una recomendación es tener claro la forma en que se etiquetará el ejemplar, el plano en el que se tome la fotografía, el área que se desea analizar y la posición del cuerpo, ya que dependiendo del objetivo de registro es posible obtener imágenes de gran calidad que facilitan el procesamiento de la imagen. Uno de los grandes retos en este trabajo fue debido a que: los ejemplares no poseían información por ausencia de la etiqueta, en algunos casos el cuerpo estaba doblado y por ende se escondían un gran número de manchas, finalmente el flash de la cámara sobre el cuerpo húmedo del ejemplar también generaba ruido. Dichas condiciones dificultaron la identificación de las manchas ocultas o disfrazadas por el efecto de iluminación.
- 2) Realizar un muestreo continuo en el tiempo, permitiendo contrastar o comparar de manera rigurosa los cambios o constantes vinculadas al tiempo. Es importante tener en claro el objetivo de la investigación, si se desea observar el cambio de patrón de manchas con respecto al tiempo, es necesario incluir un muestreo de recaptura que permita identificar si existe dicho cambio y si ocurre en un ejemplar o en diferentes ejemplares, ya que las preguntas asociadas al cambio del patrón puede generar respuestas ambiguas que ocasionarían confusiones al momento de concluir.
- 3) Emplear programas que no degeneren la calidad de la fotografía y que permitan la manipulación y el procesamiento de la imagen. En general se recomienda una manipulación rigurosa del material fotográfico, permitiendo que dicho material sea accesible y al mismo tiempo no pierda su calidad informativa debido al proceso de selección, filtrado y manipulación.
- 4) Identificar posibles fuentes de error al momento de observar las manchas, como por ejemplo: la presencia de sangre, barro y otros elementos que pueden ser identificados como manchas y el recuento o doble identificación de manchas ya analizadas.
- 5) Analizar de manera objetiva las imágenes y obtener información cuantitativa con base en la observación de las manchas, empleando: una guía visual, los criterios de al menos 3 especialistas o empleando un programa que identifique el objetivo de análisis.

Discusión

Las especies presentan diferencias en los caracteres fenotípicos (Sandlund et al. 1992, Elliott 1994). Estas diferencias morfológicas son ocasionadas principalmente por factores genéticos y ambientales que interactúan. La influencia de los factores ambientales en la plasticidad fenotípica (la capacidad de un genotipo para producir diferentes fenotipos en diferentes condiciones ambientales) están bien fundamentada (Scheiner 1993). El ambiente puede producir cambio en el color de la piel y este cambio a su vez está controlado fisiológicamente, en este proceso participa numerosas señales hormonales y neuronales que regulan la dispersión o agregación de los pigmentos en los cromatóforos (Colihueque 2010). Buitrago-Suárez & Burr (2007), señalaron que las manchas melánicas presentes en *P. magdaleniatum* son un carácter taxonómico. En este trabajo se observó que dichas manchas forman un patrón que a su vez está compuesto por lunares y barras, también se observaron bucles y rayas, pero estas manchas no se encontraron en todos los individuos.

En *P. magdaleniatum* las manchas melánicas están relacionadas con el tamaño. Este no es un caso extraño, ya que Kocabas et al. (2011) observaron que el número de lunares rojos aumentaba a medida que la longitud estándar aumentaba en el salmón *S. trutta macrostigma*. La relación en *P. magdaleniatum* implica que el número de manchas aumente a medida que la longitud estándar aumente, siendo positiva cuando se habla de lunares y barras, pero inexistente para los bucles y las rayas. La relación varía en su fuerza dependiendo del lugar de captura del ejemplar, ya que en La Dorada no existe la relación, mientras que, en Barrancabermeja, Magangué, Nechí y Cicuco la relación es moderadamente fuerte. Esto puede ser influenciado por la proporción del sexo y el número de registros en cada lugar.

Se observó una mayor proporción de ejemplares juveniles, ya que el mayor número de ejemplares estaban en el intervalo de tamaño 2 (longitud estándar mayor a 50 cm y menor a 80 cm), sin embargo, se registraron ejemplares en todos los rangos de tamaños. La mayoría de los individuos se encontraban por debajo de la talla mínima de captura de 80 cm, talla recomendada por las resoluciones 595 de 1978 y 88 de 1987 del INDERENA. Esto es coherente con los reportes en la disminución de la talla mínima de captura que se ha venido presentando, situación reportada por Galvis & Mojica en el 2007.

Se encontró una diferencia entre los tamaños de los ejemplares fotografiados en cada lugar, conformándose dos grupos, aquellos individuos que se registraron en Barrancabermeja y Nechí, que además presentaron el mayor tamaño y los individuos registrados en La Dorada, Magangué y Cicuco. Sin embargo, y debido al poco muestreo obtenido en La Dorada, no es posible tener en cuenta este lugar para la comparación de forma confiable.

Se detectaron diferencias entre los machos y las hembras, siendo las hembras de mayor longitud, esto es coherente con Jiménez-Segura et al. 2009 y Hernández-Barrero et al. 2014. Vinculando la relación que existe entre el número de manchas y el tamaño, se encontraron diferencias en el número de manchas entre machos y hembras. Las hembras tienen un mayor número de lunares, barras y bucles, en el caso de las rayas los resultados fueron contradictorios, ya que algunas pruebas señalaron diferencias pero otras pruebas muestran que no se observa diferencias de una manera clara.

La proporción de sexos no es 1:1, se registraron más hembras. Los datos pueden estar influenciados por el tamaño, ya que las hembras poseen un mayor tamaño que los machos y es plausible pensar que son el principal blanco de la pesca artesanal. La mayoría de los ejemplares registrados que sobrepasaron los 80 cm de longitud estándar, fueron hembras y solo en el intervalo de tamaño 1 (menores a 50 cm) hubo una mayor cantidad de machos. En La Dorada y Barrancabermeja se pescaron más machos que hembras, mientras que, en Magangué, Nechí y Cicuco se pescaron más hembras. Esto contrasta con los ejemplares de mayor tamaño pescados en Barrancabermeja y Nechí, ya que se están pescando más machos en Barrancabermeja, entonces el grupo de ejemplares de mayor tamaño que han sido pescados no son exclusivamente hembras.

La proporción entre el tipo de manchas según su forma para cada lugar es igual, los lunares son las manchas más numerosos, seguido por las barras, los bucles y finalmente las rayas siendo las manchas más raras. Esto muestra que existe un patrón que aunque varía de manera numérica, el tipo de mancha presente no lo hace, al menos en cuanto a lunares y barras, ya que se observaron ejemplares que no presentaron bucles o rayas. Es interesante observar que los ejemplares de La Dorada y Barrancabermeja presentaron el menor número de rayas, en comparación a los ejemplares en el resto de los lugares, esto indicaría una diferencia entre la cuenta media y baja del Magdalena (Figura 24).

En el análisis de regresión logística se observó que aumenta la probabilidad de que un ejemplar fuera hembra si poseía una gran longitud, un gran número de lunares y un menor número de barras, sin embargo aún se requiere de mayor información acerca del patrón de manchas para poder sacar conclusiones precisas y coherentes con la realidad. De igual forma al analizar los lugares por medio de la regresión logística se pudo observar el aumento o disminución de la probabilidad de que un ejemplar perteneciera a un determinado lugar con base en el cambio de número en las manchas. Aunque las variables aportaban información al modelo, el porcentaje de explicación de la varianza de los datos fue inferior al 50% y la clasificación correcta de los datos para el sexo fue de 69.3% y el lugar de 51.1%, luego aún se requiere mayor información para poder concluir de una manera confiable (explicar un mayor porcentaje de la varianza de los datos) acerca de la

relación del patrón de manchas con el lugar de captura y el sexo. Hay que tener en cuenta que solamente se analizó la forma de la mancha pero no se abordaron otras características como el tamaño, su posición dorsal o ventral en el cuerpo, entre otras.

Esto implica el desarrollo de una mejor aproximación a las características que poseen las manchas, es necesario evaluar otros parámetros geométricos que son posibles de estimar por medio de la automatización en la identificación y caracterización de dichas manchas (problema que ha sido abordado en un trabajo que se lleva a cabo en paralelo a esta investigación y continua en desarrollo).

Una aproximación interesante a este problema puede ser abordada desde la teoría de la ecología del paisaje, en el que se cuenta con una matriz heterogénea y parches con diferentes características que pueden estar vinculados entre sí por medio de corredores que cambian (en este caso a medida que el ejemplar aumenta de tamaño). Existen estudios que aplican esta teoría para la clasificación de los elementos en una fotografía; de esta forma es posible realizar el modelamiento, identificar el patrón a partir de fotografías generando herramientas para la obtención de información (Echeverry & Rodríguez 2006).

El desarrollo de estos programas representa un uso potencial en la conservación y manejo sostenible de esta y otras especie. Por ejemplo: el pez gato *Rineloricaria aequalicuspis* (Dala-Corte et al. 2016), el celacanto *Latimeria chalumnae* (Rosanne et al. 2012), el salmón *Oncorhynchus tshawytscha* (Merz et al. 2012) y varias especies de cetáceos (Würsig & Jefferson 1990), en los cuales se ha conformado una base de datos basada en la fotoidentificación de individuos, por medio de la automatización que ha facilitado el seguimiento migratorio y la adquisición de información poblacional.

En cuanto al periodo hidrológico, se encontraron diferentes longitudes estándar, conformándose 3 grupos. Hay menores longitudes durante el periodo 2, longitudes intermedias durante el período 3 y mayores longitudes en los períodos 1 y 4, que son estadísticamente iguales y hacen parte del segundo ciclo hidrológico (Figura 30 anexo A). La proporción de sexos varía conforme cambia el período hidrológico. Durante el primer ciclo (períodos 1 y 2) la proporción de hembras es menor, lo contrario ocurre durante el ciclo 2, con una mayor proporción de hembras y se encontró un aumento de individuos conforme finaliza el ciclo I. Estos cambios pueden estar vinculados al incremento de la pesca debido al aumento de la demanda y el consumo de la especie durante la semana santa (mes de abril, período 2). Sin embargo este análisis plantea preguntas que no se responden debido a que el muestreo no recaptura los individuos y además que dichos análisis no hace parte de los objetivos planteados en esta investigación. Es necesario realizar una investigación que permita analizar si un individuo presenta diferencias en el patrón de manchas conforme pasa el tiempo

Conclusiones

Las variaciones evidenciadas en el número de manchas según su forma, muestran diferencias entre el sexo y el lugar de captura, esto indica el uso potencial de las manchas como herramientas para la identificación del sexo y procedencia en ejemplares que son comercializados.

Para el estudio de dichas variaciones en el número de manchas observadas en *P. magdaleniatum* se propone la segmentación manual y el conteo de manchas siguiendo una clasificación o caracterización definida en la forma como una aproximación exploratoria.

Se detectaron diferencias significativas en la longitud estándar y el sexo observando el número de lunares, barras y bucles.

Sin embargo se requiere mayor información del patrón y el desarrollo metodológico en la caracterización de las manchas para poder identificar y evaluar con mayor confianza si es posible identificar el sexo y el lugar de captura de un determinado ejemplar basándonos en el patrón de manchas melánicas (Figura 28).



(a)



(b)

Figura 28: Comparación visual entre ejemplares de *P. magdaleniatum* (a) Hembra (b) Macho.

Se propone la estandarización de las fotos entre otras recomendaciones que permitirán desarrollar investigaciones orientadas a la automatización del análisis y caracterización de las manchas, cuyo potencial práctico es la identificación tecnificada del sexo y lugar de procedencia de ejemplares que sean comercializados.

Esta investigación es una aproximación novedosa que sirve como base para las investigaciones centradas en el desarrollo de metodológicas que por medio de la automatización, permitan el procesamiento de las imágenes y la obtención de información cuantitativa a partir de registros fotográficos de una manera rápida, precisa y objetiva (trabajo que actualmente se desarrollan en paralelo a esta investigación).

El desarrollo de herramientas y estudios que permitan la obtención de información (como el sexo) de una determinada especie de gran interés a partir del registro fotográfico de las manchas melánicas u otro carácter, tiene aplicaciones directas en trabajos orientados a: el seguimiento de mercados, la conservación y el manejo sostenible, entre otros.

Bibliografía

- Adobe Photoshop. 2012. CS6. 13.0 x 32. Adobe Systems Incorporated. Adobe Systems Incorporated, 345 Park Avenue, San Jose, California 95110, USA.
- Allen W., Cuthill I., Scott-Samuel N. & Baddeley R. 2010. Why the leopard got its spots: relating pattern development to ecology in felids. *Proc. Roy. Soc. of London B: Biological Sciences*. 1373–1380. DOI: 10.1098/rspb.2010.1734.
- Anderson C., Da Vitoria Lobo N., Roth J. & Waterman J. 2010. Computer-aided photo-identification system with an application to polar bears based on whisker spot patterns. *Journal of Mammalogy*. 91(6):1350-1359. DOI: <http://dx.doi.org/10.1644/09-MAMM-A-425.1>.
- Andrade G. 2011. Río Protegido: Nuevo concepto para la gestión de conservación de sistemas fluviales en Colombia. *Rev. Gest. y AMB*.
- AUNAP. 2013. Tallas mínimas de captura para el aprovechamiento sostenible de las principales especies de peces, crustáceos y moluscos comerciales de Colombia. Con. de cooperación No.058 del 2013. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Un. del Magdalena.
- Baerends G. 1976. The Significance of Colour Pattern in Fish for the Study of Some Fundamental Issues in Behaviour. *Rev. Trav. Inst. Peches marit*. 40(3 y 4): 413-423.
- Bansemmer C. & Bennett M. 2008. Multi-year validation of photographic identification of grey nurse sharks, *Carcharias taurus*, and applications for non-invasive conservation research. *Marine and Freshwater Research*. 59(4):322–331.
- Barker S. & Williamson J. 2010. Collaborative photo-identification and monitoring of grey nurse sharks (*Carcharias taurus*) at key aggregation sites along the eastern coast of Australia. *Marine and Freshwater Research*. 61:971–979.
- Barragán de los ríos M. 2009. Datos preliminares de la sistemática molecular de la especie *Pseudoplatystoma Magdaleniatum* (Teleostei: Pimelodidae) del río Magdalena, Colombia. Tesis de grado. Pontificia Un. Javeriana, sede Bogotá. <http://hdl.handle.net/10554/14568>
- Barreto J. 2011. Normatividad Pesquera. Pesca Continental / Aparejos Pesqueros. Proyecto Base de Datos BID-CMAR. Fundación Malpelo y otros (consultado en 23/09/2014) http://www.banrepcultural.org/sites/default/files/np_pcont_aparejos_pesqueros.pdf
- Barrio R., Baker R., Vaughan B., Tribuzy K., Carvalho M., Bassanezi R. & Maini P. 2009. Modeling the skin pattern of fishes.
- Benjumea S. 2008. Distribución, dieta y hábitat de la nutria neotropical *Lontra longicaudis*, en el Magdalena medio santandereano. Proyecto de grado de la UIS.
- Biggins D., Godbey J., Miller B. & Hanebury L. 2006. Radio telemetry for black-footed ferret research and monitoring. Pp. 175-189. In: J. Roelle, Miller B., Godbey J. & Biggins D. (Eds.). *Recovery of the black-footed ferret: progress and continuing challenges*. Proceedings of the symposium on the status of the Black-footed Ferret and its habitat, Fort Collins, Colorado. U.S. Dept. of the Interior, U. S. Geological Survey.

- Borbón H. & Rincón F. 2008. Fotoidentificación de Individuos de Ballenas Jorobadas Mediante Patrones de su Aleta Caudal. Un. Antonio Nariño. Un. Nacional de Colombia. Sede Bogotá.
- Box P. & Cox R. 1964. An analysis of transformations, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 26:211-252.
- Bradshaw C., Mollet H. & Meekan M. 2007. Inferring population trends of the world's largest fish from mark-recapture estimates of survival. *Journal of Animal Ecology*. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2007.01201.x.
- Buitrago-Suárez A. 2006. Anatomía comparada y evolución de las especies de *Pseudoplatystoma* Bleeker 1862 (Siluriformes: Pimelodidae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30(114):117-141. ISSN: 0370-3908.
- Buitrago-Suárez A. & Burr B. 2007. Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriformes: Pimelodidae) With Recognition of Eight Species. *Zootaxa*. 1512: 1-38. ISSN 1175-5326 (print edition), ISSN 1175-5333 (online edition).
- Burton D. 2002. The physiology of flatfish chromatophores. *Microscopy research and technique*. 58:481-487.
- Caballero L., Benítez M., Alvarez-Buylla E., Hernández S., Arzola A. & Cocho G. 2012. An Epigenetic Model for Pigment Patterning Based on Mechanical and Cellular Interactions. *Molecular and developmental evolution*. 318(3):209-223. DOI:10.1002/jez.b.22007.
- Caro T. 2009. Contrasting coloration in terrestrial mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 364:537-548.
- Castle W. & Allen G. 1903. The heredity of albinism. *Proc. Am. Acad. Arts. Sci.* 38: 603-621.
- Chalarca D., Mejía R. & Aguirre N. 2005. Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. *Revista Facultad de Ingeniería*. 40:41-58.
- Cheney K., Grutter A. & Marchall J. 2008. Facultative mimicry: cues for colour change and colour accuracy in a coral reef fish. *Proc. R. Soc. B* 2008 275 DOI: 10.1098/rspb.2007.0966275.
- Chin R. 1982. Automated visual inspection a survey, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* Cott H. 1940. Adaptive Coloration in Animals. London. 4(6):557-573.
- Cochrane K. & Garcia S. 2009. A Fishery Manager's Guidebook. FAO. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Wiley-Blackwell ISBN: 978-92-5-105963-0.
- Colihueque N. 2010. Genetics of salmonid skin pigmentation: clues and prospects for improving the external appearance of farmed salmonids. *Springer Link. Review in fish biology and fisheries*. 20(1):71-86.
- CORMAGDALENA. 2002. Atlas Cuenca del Río Grande de la Magdalena.
- CORMAGDALENA. 2007. Proyecto FFEM CORMAGDALENA. Plan de Manejo de la Cuenca del Río Magdalena-Cauca. Informe final.
- a.CORMAGDALENA. 2013. Datos de niveles del río Magdalena en Barrancabermeja y El Banco. (consultado 22/09/2016) <http://niveles.cormagdalena.gov.co/>

b.CORMAGDALENA. 2013. Caracterización física, demográfica, social y económica de los municipios ribereños de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena.

Dala-Corte R., Moschetta J. & Becker F. 2016. Photo-identification as a technique for recognition of individual fish: a test with the freshwater armored catfish *Rineloricaria aequalicuspis*.

Deakos M., Baker J. & Bejder L. 2011. Characteristics of a manta ray *Manta alfredi* population off Maui, Hawaii, and implications for management. *Marine Ecology Progress*. 429:245–260.

Echeverry M. & Rodriguez J. 2006. Análisis de un paisaje fragmentado como herramienta para la conservación de la biodiversidad en áreas de bosque seco y semi-húmedo tropical en el municipio de Pereira, Risaralda. Colombia. *Scientia et Technica* Año XII, No 30 UTP. ISSN 0122-1701.

EEM. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Strengthening Capacity to Manage Ecosystems Sustainably for Human Well-Being. www.millenniumassessment.org

Elliott J. 1994. Quantitative Ecology and the Brown Trout. Oxford: Oxford University Press.

FAO. 2010. Orient. téc. para la pesca responsable. Supl. 2 Add. 2(4) ISBN 978-92-5-306424-3.

FAO. 2013. Fish identification tools for biodiversity and fisheries assessments: Review and guidance for decision-makers. FAO fisheries and aquaculture technical paper. ISBN 978-92-5-107771-9.

Fisher R. 1930. The Genetical Theory of Natural Selection. The Clarendon Press. Osmania University.

Flores-Navas A. & Brown A. 2009. Peces Nativos de Agua Dulce de América del Sur de interés para la Acuicultura: Una Síntesis del Estado de Desarrollo Tecnológico de su Cultivo.

Flórez-Brand E., Mondragón E. & Carabalí E. 2008. Ecología y manejo integral de humedales lenticos en el valle geográfico del Río Cauca, Valle del Cauca, Colombia. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali.

Frankel J. 2002. Caudal Spotting in the Beacon Fish (*Hemigrammus ocellifer* Characidae). The American Genetic Association/ Journal of Heredity. 93(4):285-286.

Franz I. & Fontana C. 2013. Breeding biology of the Tawny-Bellied seedeater (*Sporophila hypoxantha*) in southern Brazilian upland grasslands. *Wilson Journal of Ornithology*. 125:280-292.

Fundación Humedales. 2010. Plan de ordenación pesquera de la región noroccidental de la isla de Mompox. Informe Final Contrato de consultoría n° 038 dhs-002-09 para la Fundación Ecopetrol y el Catatumbo FUNDESCAT. Bogotá.

Furferi R. & Governi L. 2006. Machine vision tool for real-time defect detection and classification on circular knitting machines by using statistical parameters and random transform. *Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Applied Computer Science, China*. 16-18 and 590-595.

Gallo H. & Díaz J. 2003. Variabilidad Genética del Bagre Rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* (Pisces: Pimelodidae) en el Río Magdalena (Colombia). *Rev. Acad. Colomb.*

Galvis G. & Mojica J. 2007. The Magdalena River Fresh Water Fishes and Fisheries. *Aquatic Ecosystem Health& Management*. 10(2):127-139.

- García de Leaniz C., Fraser N., Mikheev V. & Huntingford F. 1994. Individual recognition of juvenile salmonids using melanophore patterns. Dep. of Zoology. Glasgow University. G128QQ. UK.
- Gómez-Laplaza L. 2009. Recent social environment affects colour-assortative shoaling in juvenile angelfish (*Pterophyllum scalare*). Behavioural Processes. 82: 39-44. ScienceDirect.
- Google Maps. 2016. Google (S.f). Mapa del río Magdalena, Colombia (consultado 01/01/2016): <https://www.google.es/maps/place/R%C3%ADo+Magdalena/@6.4507673,-79.6678868,6z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e3b92ad32247dd3:0xd7d30682eba1638b!8m2!3d6.4596612!4d-75.1568139>
- Gualdrón M. 2007. Plan de manejo de los recursos ictiológicos y pesqueros en el Río Grande de la Magdalena y sus zonas de amortiguación. Ajuste del Doc. "Recursos Hidrológicos, Ictiológicos y Pesqueros en la Cuenca Magdalena- Cauca. para la formulación del POMIM.
- Halperin T., Carmel L. & Hawlena D. 2016. Movement correlates of lizards' dorsal pigmentation patterns. Animal Morphology and Coloration. DOI: 10.1111/1365-2435.12700.
- Hernández M. 2008. Evaluación del estado de poblaciones de bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum* en la cuenca media del río Magdalena durante la temporada de subienda del 2004. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 32(123):257-266. ISSN 0370-3908.
- Hernández-Barrero M., Valderrama-Barco C., Barreto-Reyes F., Salas-Guzman C., Alonso-Gonzalez L., Franco-Vidal G., Polo-Romero & Carrillo-Avila M. 2014. Estado de conservación de la población del bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum* en la cuenca Magdalénica, valoración de implicaciones ambientales y socioeconómicas y definición de escenarios de ordenación pesquera y sostenibilidad. Inf. Tec. Conv. Fund. Bos. y Hum. Ecopetrol.
- Hoekstra H. 2006. Genetics, development and evolution of adaptive pigmentation in vertebrates. Heredity. (97)222-234. DOI: 10.1038/sj.hdy.6800861.
- IDEAM. 2016. Valores mínimos, medios y máximos mensuales de niveles (cms) del río Magdalena, Cauca y San Jorge. Sist. de Información Nacional Ambiental. Col. Inst. de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Información suministrada de las bases de datos.
- IGAC. 2014. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Cartografía Básica 1:100.000. Cubrimiento Nacional. http://geocarto.igac.gov.co/geoservicios/cien_mil/wms
- IGAC. 2016. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Cartografía Básica 1:100.000 y Geodesia. Cubrimiento Nacional. <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=36>
- IMAGEJ. 2013. 1.47. Image Processing and Analysis in Java Wayne Rasband. National Institute of Health, USA. Java 1.6.0_20 (32-bit) 2091K de 1488MB (<1%). (last consult: 09/09/2013) <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
- InfoStat. 2016. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Jiménez-Segura L., Palacio J. & Leite R. 2010. River Flooding and Reproduction of Migratory Fish Species in the Magdalena River Basin, Colombia. Ecology of Freshwater Fish 19:178-186.
- Jiménez-Segura L., Palacio J. & López R. 2009. Características biológicas del Blanquillo *Sorubim cuspicaudus* Littmann, Burr y Nass, 2000 y Bagre Rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. Buitrago-Suárez & Burr 2007. (Siluriformes: Pimelodidae) relacionadas con su reproducción en la cuenca media del río Magdalena, Colombia. Actual Biol. 31(90):53-66.

- Joo D., Kwan Y., Song J., Pinho C., Hey J. & Won Y. 2013. Identification of cichlid fishes from Lake Malawi using computer vision. *PLOS ONE* 8(10).
- Karanth K., Chundawat R., Nichols J. & Kumar N. 2004. Estimation of tiger densities in the tropical dry forests of Panna, Central India, using photographic capture-recapture sampling. *Animal Conservation*. 7:285–290.
- Kawai K., Masuhara A. & Imabayashi H. 2000. Relationships between the spot patterns on the head of the Japanese Char *Salvelinus leucomaenis*, distributed in the Chugoku region, and water quality. *Fisheries Science*. 66:901–907.
- Kelley J., Fitzpatrick J. & Merilaita S. 2013. Spots and stripes: ecology and colour pattern evolution in butterflyfishes. *Proc. of the Roy. Soc. Biol. Sci.* 280(1757) DOI:10.1098/rspb.2012.2730.
- Kelley J., Phillips B., Cummins G. & Shand J. 2012. Changes in the visual environment affect colour signal brightness and shoaling behavior in a freshwater fish. *Animal Behavior. Science Direct*. 83:783-791.
- Kelley L. & Kelley J. 2014. Animal visual illusion and confusion: The importance of a perceptual perspective. *Behavioral Ecology*. 25:450–463.
- Kocabas M., Kayim M., Can E., Ates M., Kutluyer F. & Aksu Ö. 2011. Spotting pattern features in the brow trout (*Salmo trutta macrostigma*, T., 1954) population. *Scientific Research and ISSN: 1992-2248 Acad. Journals. Essays* 6(23):5021-5024. <http://www.academicjournals.org/SRE>
- Kodric-Brown A. 1998. Sexual dichromatism and temporary color changes in the reproduction of fishes. *Am. Zool.* 38:70-81.
- Kondo S. & Asai R. 1995. A reaction-diffusion wave on the skin of the marine angelfish *Pomacanthus*. *Nature* 376(6543):765-8. CODEN: NATUAS; ISSN: 0028-0836.
- Kondo S. & Asai R. 1996. Turing patterns in fish skin? *Nature*. 380-678. DOI:10.1038/380678b0.
- Kondo S. 2002. The reaction-diffusion system: a mechanism for autonomous pattern formation in the animal skin. *Genes Cells*. 7(6):535-41. PMID: 12059958.
- Korzan W., Robinson R., Zhao S. & Fernald R. 2008. Color change as a potential behavioral strategy. *Horm. Behav.* 54(3):463-470 DOI: 10.1016/j.yhbeh.2998.05.006.
- Kühl H. & Burghardt T. 2013. Animal biometrics: quantifying and detecting phenotypic appearance. *Trends in ecology & evolution* 28(7):432-441.
- Lee Yu G. 2010. A tank fish recognition and tracking system using computer vision techniques. *Computer Science and Information Technology*. 4:528-532.
- León G. 2003. Estudio Arqueo-ictiológico del fenómeno de la subienda en la zona de raudales del río Magdalena. *Maguaré*. 17:307-311.
- Linnane A., D. Hobday, Frusher S. & Gardner C. 2012. Growth rates of juvenile southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) estimated through a diver-based tag-recapture program. *Marine and Freshwater Research*. 63:110-118.
- Margules C. & Pressey, R. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*. 405(6783):243-253.

- Marshall D. & Pierce J. 2012. The use and abuse of photographic identification in sharks and rays. *Journal of Fish Biology*. 80(2012):361–1379.
- Martínez C., Chavarróa C., Sharpe D. & De León L. 2016. Low predictability of colour polymorphism in introduced Guppy (*Poecilia reticulata*) populations in Panama. *PLOS ONE* 11(2): e0148040. DOI: 10.1371/journal.pone.0148040.
- Martin-Smith K. 2011. Photo-identification of individual weedy sea-dragons *Phyllopteryx taeniolatus* and its application in estimating population dynamics. *Journal of Fish Biology*. 78: 1757-1768.
- MATLAB 2016. 9.0. Live Scripts: interactive documents that combine text, code, and output (in the style of Literate programming. Math-Works. Retrieved 15 September
- Merz J., Skvore P., Watry C. & Blankenship S. 2012. Onset of Melanophore Patterns in the head region of Chinook Salmon: A natural marker for the reidentification of individual fish. *North American Journal of Fisheries Management*. 32:806–816. American Fisheries Society. ISSN: 0275-5947 print / 1548-8675 online DOI: 10.1080/02755947.2012.681014.
- Mesa M. & Schreck C. 1989. Electrofishing mark–recapture and depletion methodologies evoke behavioral and physiological changes in cutthroat trout. *Transactions of the American Fisheries Society*. 118: 644-658.
- Metz H., Manceau M. & Hoekstra H. 2010. Turing patterns: how the fish got its spots. Find in: Coverage on: Miyazawa, S., Okamoto, Miyazawa S., Okamoto M. & Kondo S. 2010. Blending of animal colour patterns by hybridization. *Nat. Commun*. 1:66. DOI: 10.1038/1071. John Wiley & Sons A/S. DOI: 10.1111/j.1755-148X.2010. 00814.x.
- Millán G. 2003. Guía Para El Manejo, Cría y Conservación del Bagre Rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* Linneo. SECAB. Ciencia y Tecnología N0 125. Convenio André Bello (CAB).
- Mojica J., Castellanos C., Usma S. & Alvarez R. 2002. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Conservación Internacional. Colombia, Inst. de Cienc. Nat. Un. Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá.
- Mojica J., Valderrama M. & Barreto C. 2012. *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. Pág.: 57-58. En: Mojica J., Usma J. Álvarez-León R. & Lasso C. (Eds). 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Inst. de Invest. de Rec. Biol. Alexander von Humboldt, Inst. de Cien. Nat. de la Un. Nacional de Colombia, WWF Colombia y Un. de Manizales. Bogotá, D. C., Colombia.
- Mojica J., Valderrama M., Jimenez-Segura L. & Alonso J. 2016. *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T58439165A61474168. (last consult 21/02/2017) <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T58439165A61474168.en>
- Monk M., Berkson J. & Rivalan P. 2011. Estimating demographic parameters for loggerhead sea turtles using mark–recapture data and a multistate model. *Population Ecology*. 53:165-174.
- Monteiro N., Silva R., Cunha M., Antunes A., Jones A. & Vieira M. 2014. Validating the use of colouration patterns for individual recognition in the worm pipefish using a novel set of microsatellite markers. *Molecular Ecology Resources*. 14:150-156.
- Moore A., Grant T., Brown D. Keall S. & Nelson N. 2010. Mark-recapture accurately estimates census for tuatara, a burrowing reptile. *Journal of Wildlife Management*. 74:897-901.
- Morse H. 1978. Introduction. In: Morse H (ed) *Origins of Inbred Mice*. Academic: New York. 1-31.

- Naranjo G. 1998. Humedales. Capítulo en el libro: Cháves E. & Arango N. (eds). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad-Colombia. Tomo I. Causas de pérdida de la biodiversidad. Inst. de Invest. de Rec. Biol. Alexander von Humboldt. PNUMA, Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá-Colombia. 140-163.
- NASA 2003. National aeronautics and space administration NASA. Modelo de levación digital a 30m. <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/>
- Neto A., Silva M., Matoso D., Vicari M., Almeida M., Collares-Pereira M. & Artoni R. 2011. Karyotype variability in neotropical Catfishes of the family Pimelodidae (Teleostei: Siluriformes).
- Ornés A., Herbst A., Spillner A., Mewes W. & Rauch M. 2014. A standardized method for quantifying eggshell spot patterns. *J. Field Ornithol.* 85(4):397–407. DOI: 10.1111/jof.12079.
- Ortega M. 2008. Río Magdalena, navegación marítima y fluvial (1986-2008). Universidad del Norte ISBN:9588252660, 9789588252667.
- Ortolani A. 1999. Spots, stripes, tail tips and dark eyes: predicting the function of carnivore colour patterns using the comparative method. *Biol. J. Linn. Soc.* 67, 433–476. DOI:10.1111/j.1095-8312.1999.tb01942.x.
- Orton R., Wright L. & Hess H. 1987. Spot Polymorphism in *Girella nigricas* (Perciformes: Kyphosidae): Geographic and Inter-Size Class Variation. *American Society of Ichthyologist and Herpetologist (ASIH). Copeia.* 1987(1):198-204.
- Osterrieder S., Kent C., Anderson C., Parnum I. & Robinson R. 2015. Whisker spot patterns: A noninvasive method of individual identification of Australian sea lions (*Neophoca cinerea*). *Journal of Mammalogy.* 96(5):988-997. DOI:10.1093/jmammal/gyv102.
- Parchem R., Perry M. & Patel N. 2007. Patterns on the insect wing. Elsevier. DOI: 10.1016/j.gde.2007.05.006.
- Parichy D. 2003. Pigment patterns: fish in stripes and spots. *Current Biology* 13:R947–R950.
- Parichy D. & Turner J. 2003. Zebrafish puma mutant decouple pigment pattern and somatic metamorphosis. *Developmental Biology.* 256(2003):242–257.
- Ponce de León E. 1999. Humedales interiores de Colombia. Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos.
- Price A., Weadick C., Shim J. & Rodd H. 2008. Pigments, patterns, and fish behavior. *SEBRAFISH.* 5(4). DOI: 10.1089/seb.2008.055.
- Price T. & Pavelka M. 1996. Evolution of a colour pattern: history, development, and selection. *J. Evol. Biol.* 9:451-470.
- PROCER. 2007. Programa de conservación de especies en riesgo. (consultado en 21/02/2017) <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-conservacion-de-especies-en-riesgo-procer>
- Puigcerver M. 2007. Evolución del patrón de coloración melánica en los primeros estadios de desarrollo de la mojarra, *Archocentrus myrnae* Loisel, 1997 (Perciformes: Cichlidae). *Orsis.* 35-44.
- Quigley I., Manuel J., Roberts R., Nuckel R., Herigton E., MacDonald E. & Parichy D. 2005. Evolutionary diversification of pigment pattern in *Danio* fishes: differential frequency dependence and stripe loss in *D. albolineatus*. 132:89-104. DOI: 10.1242/dev.01547.

- Rawls J., Mellgren E. & Johnson S. 2001. How the zebrafish gets its stripes? *Dev. Biol.* 240:301–314.
- Reis & Cardoso, 2001 (Siluriformes: Loricariidae). *Neotropical Ichthyology*. 14(1): e150074. DOI: 10.1590/1982-0224-20150074.
- Restrepo J. 2005. Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Editorial Universidad EAFIT. Primera edición.
- Rodrigues R., Carvalho L., Zuanon J. & Del-Claro K. 2009. Color changing and behavioral context in the Amazonian dwarf cichlid *Apistogramma hippolytae* (Perciformes). *Neotropical Ichthyology*. 7(4):641-646. Sociedad brasileña de Ictiología.
- Rosanne T. & Booth A. 2012. Computer-aided identification of coelacanth, *Latimeria chalumnae*, using scale patterns. *Marine Biology Research*. 8 (3):300-306. DOI: 10.1080/17451000.2011.628679.
- Russell L. & Major M. 1957. Radiation-induced presumed somatic mutations in the house mouse. *Genetics*. 42:161–175.
- Sandlund O., Indar T. & Brown A. 1992. Conservation of biodiversity for sustainable development. Scandinavian University Press, Oslo, Norway.
- Scheiner S. 1993. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. (24)35-68.
- Sekimura T., Madzvamuse A. & Maini P. 2006. Pigmentation pattern formation in butterfly wings: global patterns on Fore- and Hindwing. *Mathematical Modeling of Biological Systems*. 1(12):141-147 DOI: 10.1007/978-0-8176-4558-8_12.
- Sheridan L. & Pomiankowski A. 1997. Fluctuating asymmetry, spot asymmetry and inbreeding depression in the sexual coloration of male guppy fish. *Heredity*. (79):515–523.
- Shevtsova E., Hansson C., Janzen D. & Kjærandsen J. 2010. Stable structural color pattern displayed on transparent insect wings. *PNAS Early Edition*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1017393108
- Silvy N., Lopez R. & Peterson M. 2012. Techniques for marking wildlife. 1:230-257. In: Silvy N. (Ed.). En: Silvy, N. J. *The Wildlife Techniques Manual*. JHU Press.
- Speed C., Meekan M. & Bradshaw C. 2007. Spot the match: wildlife photo-identification using information theory. *Frontiers in Zoology*. DOI: 10.1186/1742-9994-4-2.
- SPSS. 2016. IBM SPSS Statistics. V 24, Ed 32 bit. Copyright IBM Corporation 1989.
- STATGRAPHICS. 2010. Centurion XVI. v 16.1.03. 32 bits. StatPoint Technologies, Inc. 1982-2010.
- STATISTICA. 2013. 12.0.1133.15. Trial. StatSoft. Analytics from Development to Production. February 22.
- Stevens M., Párraga C., Cuthill I., Partridge J. & Troscianko T. 2007. Using digital photography to study animal coloration. *Biol. J. Linn. Soc.* 90:211–237. DOI:10.1111/j.1095-8312.2007.00725.x.
- Thayer G. 1909. Concealing-Coloration in the animal kingdom. an exposition of the laws of disguise through color and pattern: being a summary of abbott H. Thayer's. The Macmillan CO.

- Tobasura I. 2006. Reivindicaciones y repertorios de acción del movimiento campesino en Colombia en los albores del siglo XXI. Ponencia en el VII Congreso Latinoamericano de Sociología Rural, 20-24 de noviembre, Quito.
- Trucco E., Ouzounis G. & Odone F. 2000. Fish grading using machine vision and statistical learning. Ocean System Laboratory. Dep. of Compt. and Elct. Engine. Heriot-Watt University, Edinburg, EH144AS, Uk.
- Turing A. 1952. The chemical basis of morphogenesis. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences. 237(641):37-72.
- Van Tienhoven A., Den Hartog J., Reijns R. & Peddemors V. 2007. A computer-aided program for pattern-matching of natural marks on the spotted ragged tooth shark *Carcharias Taurus*. Journal of Applied Ecology. 44:273–280.
- Vargas-Ramírez M., Chiari Y., Castaño-Mora V. & Menken S. 2007. Low genetic variability in the endangered Colombian endemic freshwater turtle *Podocnemis lewyana* (Testudines, Podocnemididae). Contributions to Zoology. 76(1):1-7.
- Vázquez L. 2010. Distribución espacial y temporal de toninas (*Tursiops truncatus*) y su abundancia en el sistema arrecifal Novera Cruzano (SANV). Tesis de Maestría. Un. Veracruzana. Fac. de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Venkataraman C., Sekimura T., Gaffney E. & Maini P. 2011. Modeling parr-mark pattern formation during the early development of Amago trout. American Physical Society. 1539-3755/2011/84(4)/041923(13) DOI: 10.1103/PhysRevE.84.041923.
- Vogt G. 2015. Stochastic developmental variation, an epigenetic source of phenotypic diversity with far-reaching biological consequences. J. Biosci. (40):159-204. DOI: 10.1007/s12038-015-9506-8.
- Wright S. 1917. COLOR INHERITANCE IN MAMMALS V. The Guinea-pig: great diversity in coat-pattern, due to interaction of many factors in development. Some Factors Hereditary, Others of the Nature of Accidents in Development. Journal of Heredity. 8(10):476-480.
- Würsig B. & Jefferson T. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. Individual recognition of cetaceans: Use of photo identification and other techniques to estimate population parameters. 43-51.
- Zárate M., Martínez J. & Caraballo R. 1988. Captura y esfuerzo pesquero en la cuenca del río Magdalena y su sistema de planos inundables durante la subienda de 1987 y estado actual de sus pesquerías. Informe Técnico. INDERENA, San Cristóbal (Bolívar).

Anexo A

Tabla 57: Normatividades Regulatoras de la pesca de *P. magdaleniatum*.

Norma	Autoridad Competente	Objeto de la Norma
Resolución 0842 (1962) ¹	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.	Reglamenta las dimensiones de los chinchorros, trasmallos, atarrayas y cóngolos para la pesca.
Resolución 0386 (1967) ²	CVM	Regulan las medidas sobre la pesca en el sistemas hidrográfico del río Magdalena.
Resolución 450 (1968)	CVM	Prorroga la vigencia de la resolución 386 de 1967, sobre la pesca con chinchorro en el río Magdalena.
Resolución 0999 (1969)	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.	Dicta medidas sobre la pesca fluvial.
Resolución 0764 (1970)	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.	Dicta medidas sobre la pesca fluvial y deroga algunas disposiciones ya impuestas.
Resolución 0025 (1971)	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.	Fija normas sobre la pesca fluvial en hoyas hidrográficas de los ríos Magdalena y Sinú. Deroga algunas disposiciones ya impuestas.
Resolución 0267 (1971)	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.	Modifica la resolución 025 de 1971.
Resolución 0268 (1971)	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.	Permite el uso del chichorro en la hoya hidrográfica del río Magdalena.
Resolución 1442 (1979) ²	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.	Fija norma para el uso de trasmallo en las Ciénagas de los ríos Magdalena, San Jorge y Cauca.
Acuerdo 0024 (1989)	Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente	Autoriza y reglamenta nuevos artes de pesca, se fijan épocas de veda y deroga la resolución 1442 del 1979.
Acuerdo 005 (1993)	Instituto Nacional de Pesca	Por el cual se autoriza el uso de algunos artes y aparejos de pesca en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Reglamenta la pesca en la cuenca del Magdalena.
Acuerdo 0004 (1995)	Instituto Nacional de Pesca	Modifica parcialmente el acuerdo 005 de 1993.
Resolución 0028 (2000)	Instituto Nacional de Pesca	Establece un horario de pesca en el área comprendida desde el saldo de Honda hasta Puerto Caracolí, implicando el municipio de Honda, y los departamentos del Tolima, Puerto Bogotá y Cundinamarca.
Resolución 0533 (2000)	Instituto Nacional de Pesca	Reglamenta algunas artes pesqueros en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge.
Resolución 0534 (2000)	Instituto Nacional de Pesca	Reglamenta las artes y aparejos pesqueros en el Embalse de Guájaro, en el Atlántico.
Resolución 0535 (2000)	Instituto Nacional de Pesca	Reglamenta las redes de enmalle en el alto río Meta en la cuenca del río Orinoco.
Resolución 0520 (2001)	Instituto Nacional de Pesca	Reglamenta algunos artes de pesca, implementa las tallas mínimas de algunas especies de peces de consumo, en el río Sinú, además de adoptar medidas de protección del recurso pesquero en este sector.
Resolución 0521 (2002)	Instituto Nacional de Pesca	Modifica parcialmente la resolución 000520 del 2001.

¹ Norma derogada

Anexo A

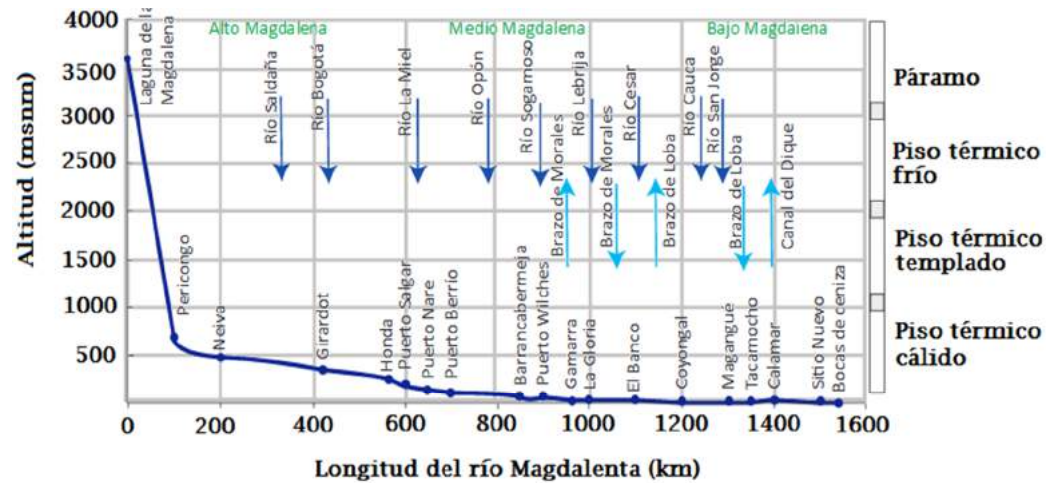


Figura 29: Perfil esquemático del río Magdalena dividido en tres partes: alto, medio y bajo Magdalena, con la altitud, la distancia entre los principales puertos y los ríos tributarios más importantes (CORMAGDALENA 2002).

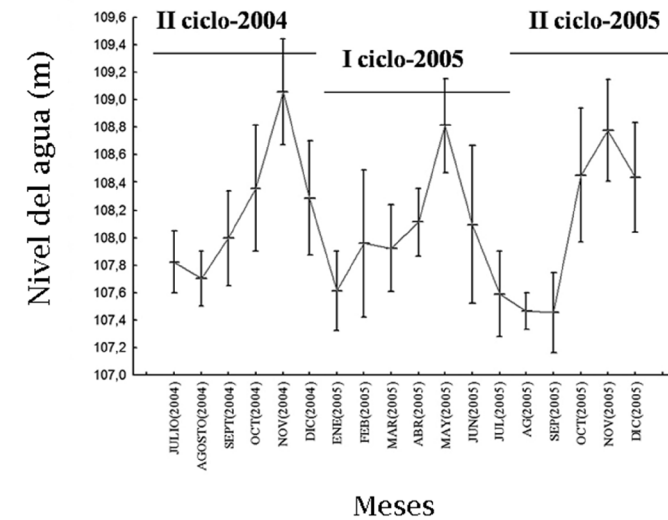
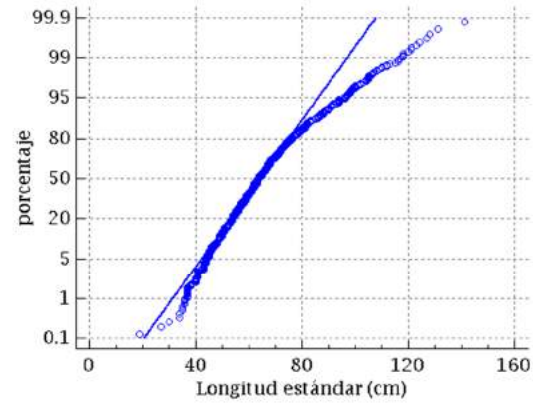


Figura 30: Distribución temporal del nivel del agua ($\bar{X} \pm s$) en la cuenca media del Magdalena en el periodo 2004-2005 (Jiménez-Segura et al. 2009).

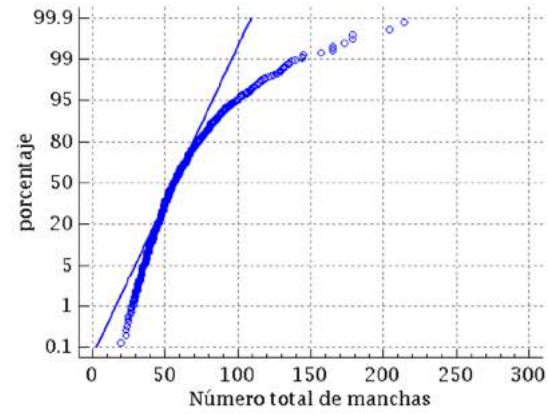
Tabla 58: Variación temporal de los niveles de agua del río Magdalena (IDEAM 2016).

Localidad	Meses con nivel de agua alto	Meses con nivel de agua bajo
Buenavista (La Dorada)	Mayo y Noviembre	Febrero y Julio
Barrancabermeja	Mayo, Agosto y Noviembre	Enero, Febrero, Julio y Septiembre
Magangué	Junio y Diciembre	Marzo y Agosto
Nechí	Mayo, Julio y Noviembre	Enero, Octubre y Diciembre
San Francisco de Loba (Cicuco)	Junio y Octubre	Febrero, Julio y Diciembre

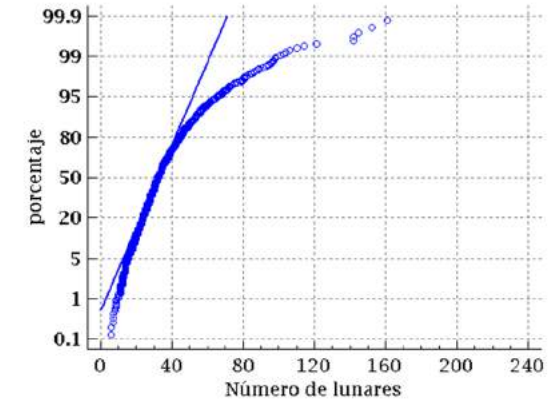
Anexo A



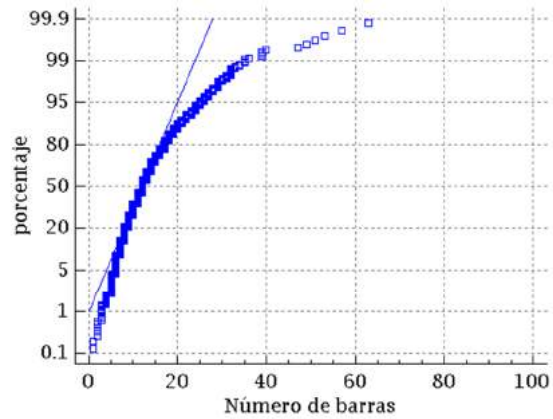
(a)



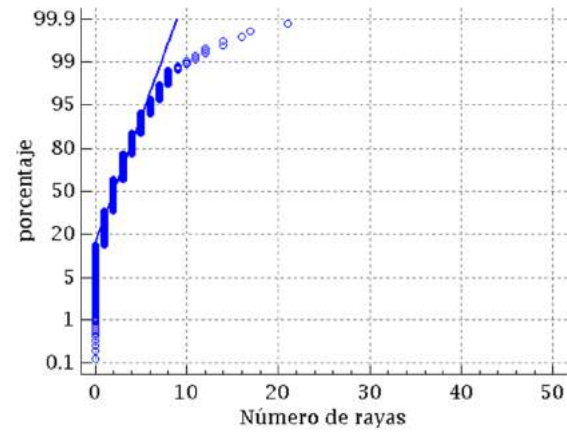
(b)



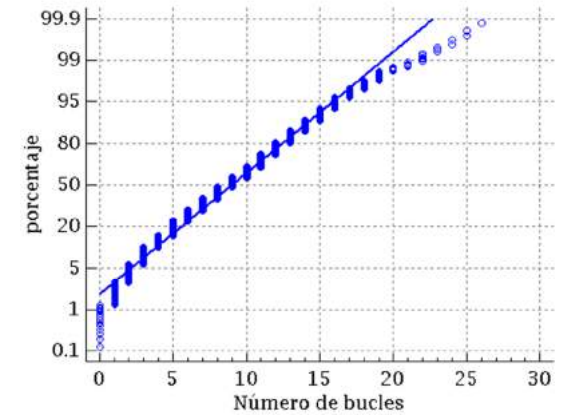
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 31: Gráfico de probabilidad normal en: (a) La longitud estándar (cm) (b) El número total de manchas (c) El número de lunares (d) El número de barras (e) El número de rayas (f) El número de bucles. Gráficos fueron realizados con ayuda del programa Statgraphics (STATGRAPHICS Centurión XVI).

Anexo A

Tabla 59: Tabulación de frecuencias para la longitud estándar estimada (LE).

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0		0	0.0000	0	0.0000
1	0	5.625	2.8125	0	0.0000	0	0.0000
2	5.625	11.25	8.4375	0	0.0000	0	0.0000
3	11.25	16.875	14.0625	0	0.0000	0	0.0000
4	16.875	22.5	19.6875	0	0.0000	0	0.0000
5	22.5	28.125	25.3125	0	0.0000	0	0.0000
6	28.125	33.75	30.9375	1	0.0008	1	0.0008
7	33.75	39.375	36.5625	24	0.0189	25	0.0196
8	39.375	45.0	42.1875	75	0.0589	100	0.0786
9	45.0	50.625	47.8125	94	0.0738	194	0.1524
10	50.625	56.25	53.4375	172	0.1351	366	0.2875
11	56.25	61.875	59.0625	179	0.1406	545	0.4281
12	61.875	67.5	64.6875	230	0.1807	775	0.6088
13	67.5	73.125	70.3125	162	0.1273	937	0.7361
14	73.125	78.75	75.9375	93	0.0731	1030	0.8091
15	78.75	84.375	81.5625	80	0.0628	1110	0.8720
16	84.375	90.0	87.1875	55	0.0432	1165	0.9152
17	90.0	95.625	92.8125	29	0.0228	1194	0.9379
18	95.625	101.25	98.4375	34	0.0267	1228	0.9647
19	101.25	106.875	104.063	18	0.0141	1246	0.9788
20	106.875	112.5	109.688	10	0.0079	1256	0.9866
21	112.5	118.125	115.313	8	0.0063	1264	0.9929
22	118.125	123.75	120.938	3	0.0024	1267	0.9953
23	123.75	129.375	126.563	2	0.0016	1269	0.9969
24	129.375	135.0	132.188	1	0.0008	1270	0.9976
25	135.0	140.625	137.813	0	0.0000	1270	0.9976
26	140.625	146.25	143.438	2	0.0016	1272	0.9992
27	146.25	151.875	149.063	0	0.0000	1272	0.9992
28	151.875	157.5	154.688	0	0.0000	1272	0.9992
29	157.5	163.125	160.313	1	0.0008	1273	1.0000
30	163.125	168.75	165.938	0	0.0000	1273	1.0000
31	168.75	174.375	171.563	0	0.0000	1273	1.0000
32	174.375	180.0	177.188	0	0.0000	1273	1.0000
	mayor de	180.0		0	0.0000	1273	1.0000

1273 valores con rango desde 9.0 a 159.0, Media = 66.1013 Desviación Estándar = 16.494.

Anexo A

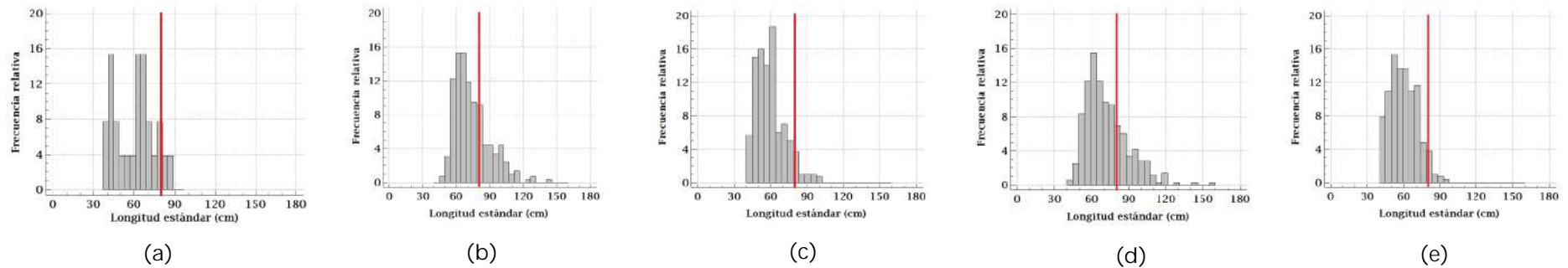


Figura 32: Histograma de frecuencias relativas de la longitud estándar (cm) en: (a) La Dorada (b) Barrancabermeja (c) Magangué (d) Nechí (e) Cicuco. La talla de captura mínima sugerida (80 cm) por la norma se señala con la línea roja.

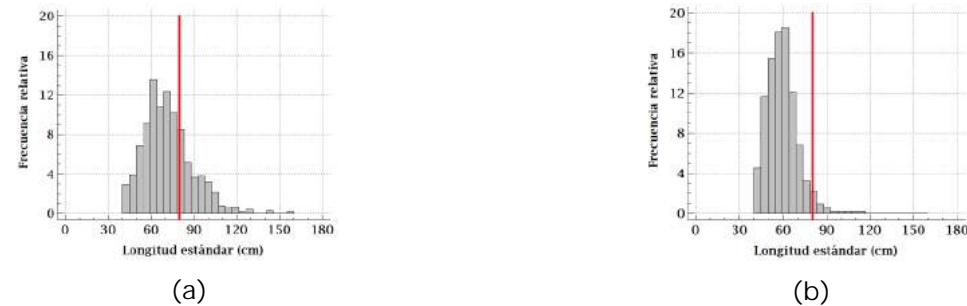


Figura 33: Histograma de frecuencias relativas de la longitud estándar (cm) en: (a) en las hembras (b) en los machos. La talla de captura mínima sugerida (80 cm) por la norma se señala con la línea roja.

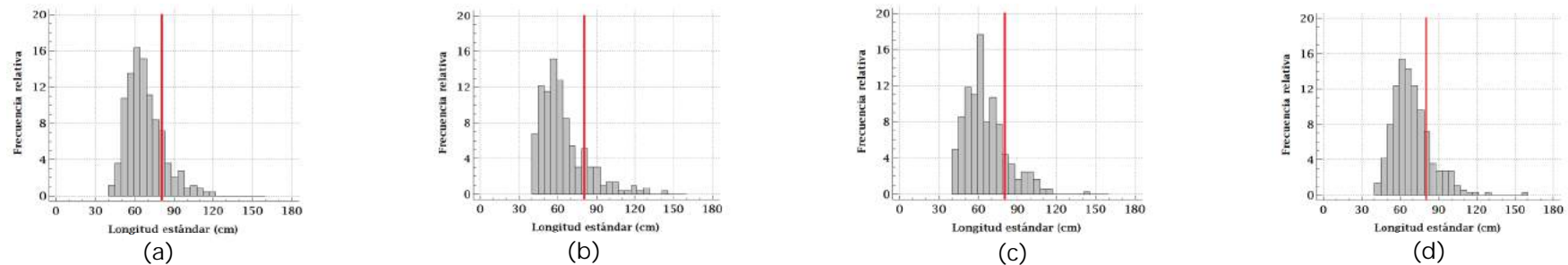


Figura 34: Histograma de frecuencias relativas de la longitud estándar (cm) en: (a) en el período 1 (b) en el período 2 (c) en el período 3 (d) en el período 4. La talla de captura mínima sugerida (80 cm) por la norma se señala con la línea roja.

Anexo A

Tabla 60: Coeficientes sin estandarizar de la función discriminante para el tamaño.

Variable	Función		
	1	2	3
LE	0.133	-0.054	0.009
TL	0.001	0.044	0.008
TB	0.012	0.099	-0.073
TR	0.004	0.017	0.325
TBu	-0.002	-0.022	-0.115
Constante	-8.952	0.797	0.279

Tabla 61: Clasificación del análisis de discriminantes para el código de tamaño.

Cód tamaño	Tamaño de grupo	Código del tamaño predicho			
		1	2	3	4
1	169	169 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
2	879	99 (11.26%)	723 (82.25%)	57 (6.48%)	0 (0%)
3	173	0 (0%)	0 (0%)	168 (97.11%)	5 (2.89%)
4	52	0 (0%)	0 (0%)	6 (11.54%)	46 (88.46%)

Tabla 62: Centroides de Grupo para el código del tamaño.

Grupo	1	2	3
1	-2.99	0.413	0.055
2	-0.372	-0.098	-0.024
3	2.947	-0.136	0.097
4	6.202	0.762	-0.092

Tabla 63: Prueba de normalidad para la variable transformada de la longitud estándar.

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.987366	0.529314

La prueba de normalidad Shapiro-Wilk para determinar si los valores transformados de LE pueden modelarse adecuadamente por la distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk se basa en comparar los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos. El valor-P es más pequeño de las pruebas realizadas es mayor a 0.05, no se puede rechazar la idea de que LE proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

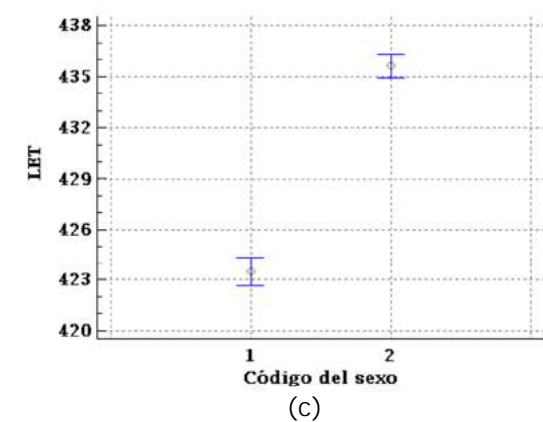
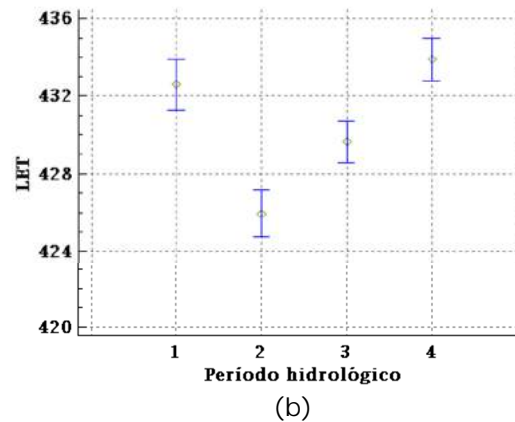
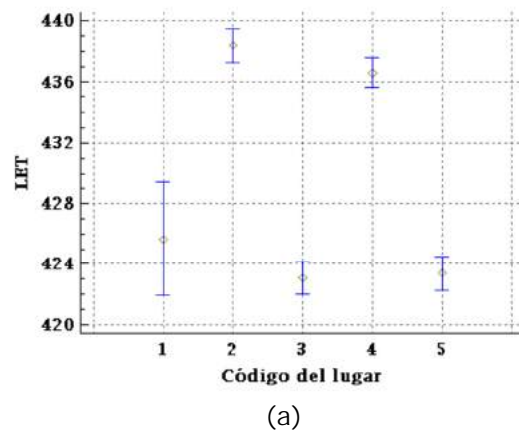


Figura 35: Gráfica de Fisher de la prueba ANOVA para comparar la longitud estándar según: (a) El lugar de estudio (b) El sexo (c) El período hidrológico. El círculo representa las medias y la distancia entre los bigotes es el 95% de Fisher LSD.

Anexo A

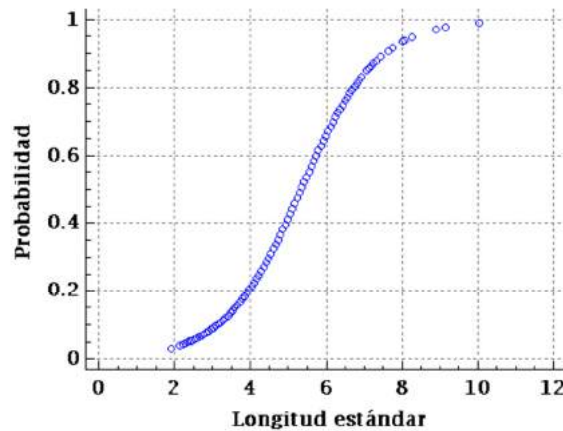
Tabla 64: Variables que no se encuentran en la ecuación del modelo.

Variables	Puntuación	GI	Sig.
LE	139.001	1	<0.0001
TL	127.698	1	<0.0001
TB	8.546	1	0.003
TR	10.559	1	0.001
TBu	8.687	1	0.003
TM	128.088	1	<0.0001

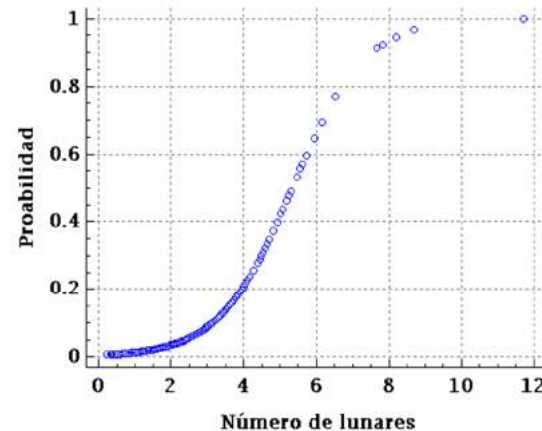
a. Los Chi-cuadrados residuales no se calculan debido a redundancias.

Tabla 65: Tabla de contingencia para la prueba de Hosmer y Lemeshow.

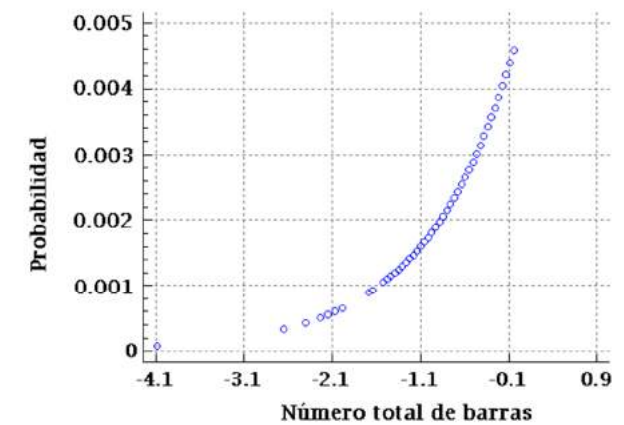
Datos	CS = 0		CS = 1		Total
	Observado	Esperado	Observado	Esperado	
1	76	78.531	29	26.469	105
2	66	67.423	39	37.577	105
3	61	60.612	44	44.388	105
4	60	53.735	45	51.265	105
5	51	45.988	54	59.012	105
6	40	38.294	65	66.706	105
7	30	30.275	75	74.725	105
8	16	21.830	89	83.170	105
9	7	13.530	98	91.470	105
10	8	4.783	99	102.217	107



(a)



(b)



(c)

Figura 36: Gráfico de la función logística. La probabilidad de ocurrencia de un tipo sexo en un individuo dependiendo de (a) la longitud estándar (LE) (b) el número total de lunares (TL) y (c) el número total de barras (TB).

Anexo A

Tabla 66: Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas.

Código del sexo	Rango	Logaritmo
1	5	17.821
2	5	19.648
Dentro de grupos combinados	5	19.103

Los logaritmos naturales son los de las matrices de covarianzas de grupo.

Tabla 68: Variable que no cumple los criterios de tolerancia.

Variable	Varianza	Tolerancia	Tolerancia mínima
TM	482.769	0.000	0.000

Todas las variables que pasan los criterios de tolerancia se especifican de forma simultánea. a. El nivel de tolerancia mínimo es .001. La varianza es dentro de los grupos.

Tabla 70: Valores de Lamda de Wilks.

Prueba	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	Gl	Sig.
1	0.824	240.09	5	<0.0001

El valor de lambda es moderadamente alto (0.824), mostrando un alto grado de solapamiento entre los grupos. Sin embargo el valor transformado de lambda (Chi-cuadrado = 240.090) tiene asociado (con 5 gl) un nivel crítico (sig.) de 0, por lo que se rechaza la Ho de que los grupos comparados tienen promedio iguales en las variables discriminantes.

Tabla 72: Matriz de estructuras.

Variables	Función 1
LE	0.911
TM ^a	0.783
TL	0.766
TB	0.327
TBu	0.228
TR	0.187

Grado de correlación con la función discriminante, de mayor a menor. Correlaciones dentro de grupos combinados entre las variables discriminantes y las funciones discriminantes canónicas estandarizadas Variables ordenadas por el tamaño absoluto de la correlación dentro de la función. a. Esta variable no se utiliza en el análisis.

Tabla 73: Coeficientes de la función discriminante canónica.

Variables	Función 1
LE	0.051
TL	0.026
TB	-0.035
TR	0.018
TBu	0.027
(Constante)	-4.089

Coeficientes no estandarizados.

Tabla 67: Resultados de la prueba M de Box.

M de Box	253.421
Aprox.	16.819
Gl1	15
Gl2	4817101.719
Sig.	<0.0001

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

Tabla 69: Resumen de funciones discriminantes canónicas y autovalores.

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación
1	0.213 ^a	100	100	0.419

a. Se utilizaron las primeras funciones discriminantes canónicas en el análisis.

Se busca un autovalor cercano o igual a uno y una correlación canónica fuerte igual a uno, el resultado obtenido indica que esta función no discrimina los dos sexos.

Tabla 71: Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados.

Variable	Función1
LE	0.770
TL	0.450
TB	-0.251
TR	0.044
TBu	0.122

Tabla 74: Funciones en centroides de grupo.

Código del sexo	Función1
1	-0.554
2	0.384

Las funciones discriminantes canónicas sin estandarizar se han evaluado en medias de grupos.

Anexo A

Tabla 75: Tabla resumen del proceso de clasificación.

	Procesado	1250
Excluido	Cód. de grupo perdidos o fuera de rango	0
	Como mínimo, falta una variable discriminatoria	3
	Utilizado en resultado	1247

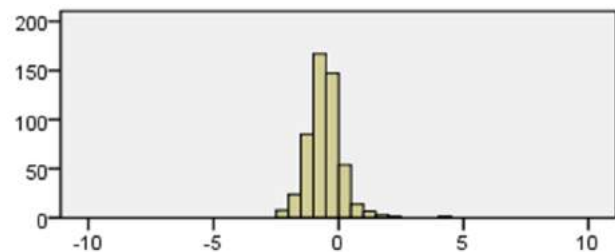
Tabla 76: Probabilidades previas para grupos.

Cód. del sexo	Previa	Casos utilizados	
		No ponderado	Ponderados
1	0.500	511	511
2	0.500	736	736
Total	1.000	1247	1247

Tabla 77: Coeficientes de función de clasificación.

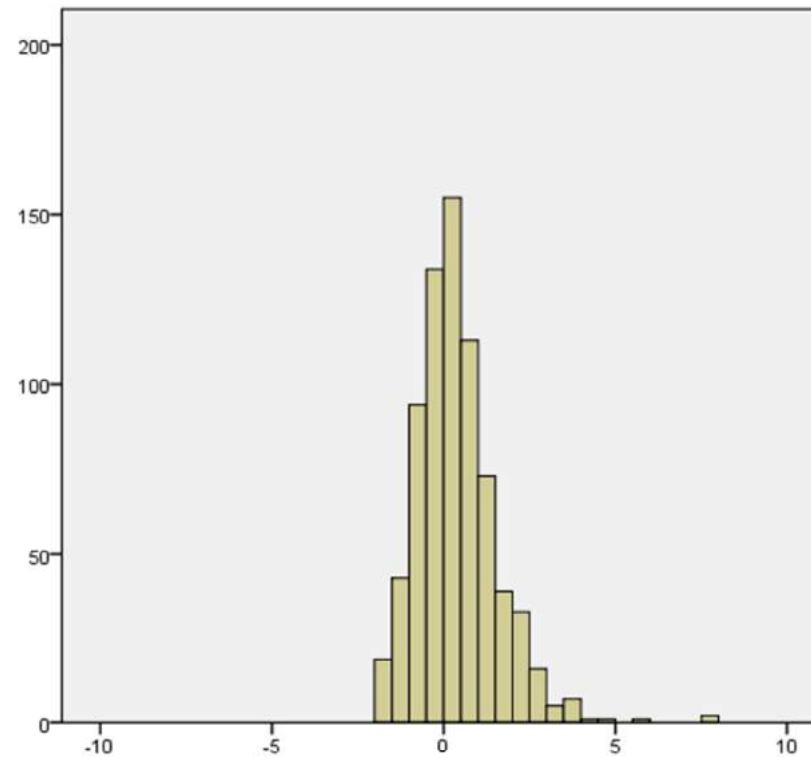
Variables	Código del sexo	
	1	2
LE	0.252	0.299
TL	-0.031	-0.007
TB	0.023	-0.010
TR	0.192	0.209
TBu	0.298	0.323
(Constante)	-9.240	-12.996

Funciones discriminantes lineales de Fisher.



(a)

$\bar{x} = -0.55$
 $s = 0.693$
 $n = 511$



(b)

$\bar{x} = 0.38$
 $s = 1.166$
 $n = 736$

Figura 37: Gráfico de grupos separados (a) Función 1 de discriminante canónico en hembras (b) Función 1 de discriminante canónico en machos.

Anexo A

Tabla 78: Resultado de la clasificación.

		Código del sexo	Pertenencia a grupos pronosticada		Total
			1	2	
Original	Recuento	1	409	102	511
		2	264	472	736
	%	1	80.0	20.0	100
		2	35.9	64.1	100
Validación cruzada	Recuento	1	407	104	511
		2	268	468	736
	%	1	79.6	20.4	100
		2	36.4	63.6	100

70.6% de casos agrupados originales clasificados correctamente.

La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso.

70.2% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

Tabla 79: Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas.

Código del lugar	Rango	Logaritmo del determinante
2	5	20.068
3	5	16.355
4	5	19.207
5	5	17.593
Dentro de grupos combinados	5	18.892

Tabla 80: Resultados de la prueba.

M de Box	678.442
	Aprox. 14.968
	GI1 45
	GI2 3643829.887
F	Sig. 0.000

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

Tabla 81: Variables que faltan en la prueba de tolerancia.

Variable	Varianza	Tolerancia	Tolerancia mínima
TM	505.621	0.000	0.000

Todas las variables que pasan los criterios de tolerancia se especifican de forma simultánea.

a El nivel de tolerancia mínimo es .001. La varianza es dentro de los grupos

Tabla 82: Resumen de funciones discriminantes canónicas y Autovalores.

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	0.301 ^a	66.0	66.0	0.481
2	0.108 ^a	23.7	89.6	0.312
3	0.047 ^a	10.4	100.0	0.213

a. Se utilizaron las primeras 3 funciones discriminantes canónicas en el análisis. Los valores de auto valor y de correlación canónica señalan que las variables discriminantes no permiten distinguir de forma clara los 5 grupos (lugares).

Tabla 83: Lambda de Wilks.

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	Gl	Sig.
1 a 3	0.662	511.784	15	0.000
2 a 3	0.862	184.768	8	0.000
3	0.955	57.388	3	0.000

Valores altos en lambda indican un alto grado de solapamiento entre los grupos, sig en Chi cuadrado indica que existe diferencias entre la media de los grupos en cada variable discriminante.

Tabla 84: Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados.

Variable	Función		
	1	2	3
LE	1.039	-0.533	-0.167
TL	-0.447	-0.114	0.540
TB	0.300	0.902	-0.286
TR	0.153	-0.129	0.740
TBu	-0.164	0.903	0.404

La variable con más importancia en la función discriminante es la LE, seguida por lunares y por barras.

Anexo A

Tabla 85: Matriz de estructuras.

Variable	Función		
	1	2	3
LE	0.895*	-0.036	0.171
TB	0.621*	0.424	-0.182
TM ^a	0.479*	0.177	0.430
TBu	-0.019	0.634*	0.445
TR	0.205	-0.133	0.796*
TL	0.339	-0.079	0.384*

* Indica la mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante. a. Esta variable no se utiliza en el análisis.

Tabla 88: Resumen de proceso de clasificación.

Procesado		1250
Excluido	Códigos de grupo perdidos o fuera de rango	0
	Como mínimo, falta una variable discriminadora	3
	Utilizado en resultado	1247

Tabla 86: Coeficientes de la función discriminante canónica.

Variable	Función		
	1	2	3
LE	0.070	-0.036	-0.011
TL	-0.025	-0.006	0.030
TB	0.044	0.133	-0.042
TR	0.062	-0.053	0.302
TBu	-0.037	0.201	0.090
(Constante)	-4.172	-0.860	-1.350

Los coeficientes no están estandarizados

Tabla 89: Probabilidades previas para grupos.

Código del lugar	Prevía	Casos utilizados	
		No ponderados	Ponderados
2	0.250	294	294.000
3	0.250	300	300.000
4	0.250	361	361.000
5	0.250	292	292.000
Total	1.000	1247	1247.000

Tabla 87: Funciones en centroides de grupo.

Código del lugar	Función		
	1	2	3
2	0.639	0.353	-0.185
3	-0.544	-0.270	-0.266
4	0.414	-0.340	0.196
5	-0.596	0.342	0.217

Las funciones discriminantes canónicas sin estandarizar se han evaluado en medias de grupos.

Tabla 90: Coeficientes de función de clasificación.

Variable	Código del lugar			
	2	3	4	5
LE	0.341	0.282	0.346	0.251
TL	-0.081	-0.051	-0.060	-0.039
TB	0.163	0.032	0.045	0.090
TR	0.229	0.163	0.366	0.274
TBu	0.312	0.222	0.215	0.391
(Constante)	-15.657	-10.011	-14.512	-11.014

Funciones discriminantes lineales de Fisher

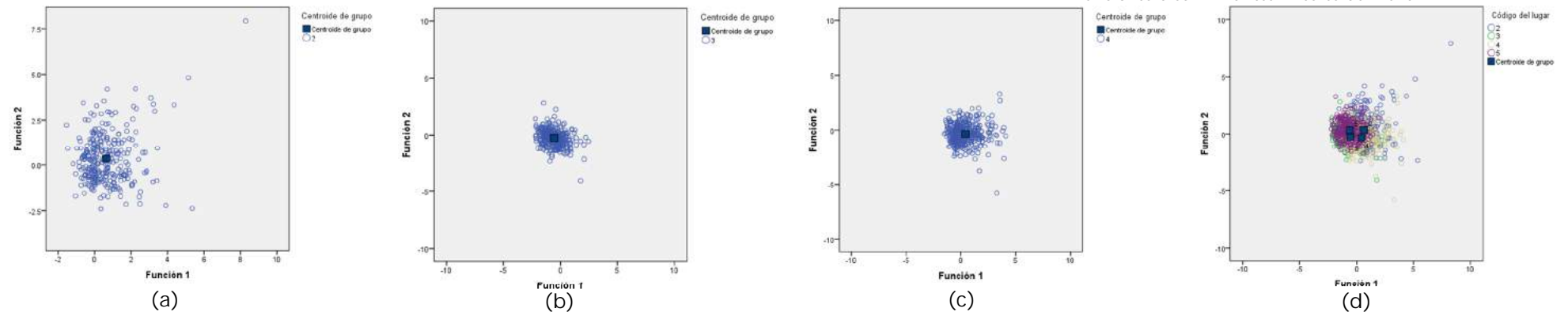


Figura 38: Función discriminante canónica (a) Barrancabermeja (b) Magangué (c) Nechí (d) Superposición de Barrancabermeja, Nechí, Cícuco y Magangué.

Anexo A

Tabla 91: Resultados de la clasificación.

		Código del lugar	Total	Pertenencia a grupos pronosticada			
				2	3	4	5
Original	Recuento	2	294	121	48	76	49
		3	300	18	155	45	82
		4	361	75	83	135	68
		5	292	35	79	30	148
	%	2	100	41.2	16.3	25.9	16.7
		3	100	6	51.7	15	27.3
		4	100	20.8	23	37.4	18.8
		5	100	12	27.1	10.3	50.7
Validación cruzada ^b	Recuento	2	294	119	48	78	49
		3	300	18	155	45	82
		4	361	77	84	132	68
		5	292	35	79	30	148
	%	2	100	40.5	16.3	26.5	16.7
		3	100	6	51.7	15	27.3
		4	100	21.3	23.3	36.6	18.8
		5	100	12	27.1	10.3	50.7

a. 44.8% de casos clasificados correctamente. b. La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso. c. 44.4% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

Tabla 92: Ajuste de los modelos.

Modelo	Criterios de ajuste	Pruebas de verosimilitud		
	Log. de verosimilitud	X ²	GI	Sig.
Intersección	3701.06	-	-	-
Final	2928.573	772.487	36	<0.0001

Las variables seleccionadas si aportan en la explicación del lugar de estudio y son significativas según el criterio de verosimilitud.

Tabla 93: Bondad de ajuste.

	X ²	GI	Sig.
Pearson	4281.937	5052	1
Desviación	2928.573	5052	1

Hay similitud entre los datos esperados y los datos reales, con base en la tabla de bondad de ajuste.

Tabla 94: Pseudo R cuadrado.

Pseudo R ²	
Cox y Snell	0.455
Nagelkerke	0.481
McFadden	0.209

El modelo explica entre el 20.9% a 45.5% de la varianza.

Tabla 95: Prueba de la razón de verosimilitud.

Efecto	Criterios de ajuste de modelo	Pruebas de la razón de verosimilitud		
	Logaritmo de la verosimilitud -2 de modelo reducido	Chi-cuadrado	GI	Sig.
Intersección	2928.573 ^a	0	0	-
LE	3155.349	226.776	4	<0.0001
TL	2928.573 ^a	0	0	-
TB	2928.573 ^a	0	0	-
TR	2928.573 ^a	0	0	-

Anexo A

Efecto	Criterios de ajuste de modelo		Pruebas de la razón de verosimilitud		
	Logaritmo de la verosimilitud	-2 de modelo reducido	Chi-cuadrado	Gl	Sig.
TBu	2928.573 ^a		0.000	0	-
TM	2928.573 ^a		0.000	0	-
Código del sexo	3016.360		87.787	4	0.000
Período	3034.479		105.906	12	0.000

El estadístico de Chi-cuadrado es la diferencia de la log-verosimilitud -2 entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. Ho es que todos los parámetros de dicho efecto son 0. a. Este modelo reducido es equivalente al modelo final porque omitir el efecto no aumenta los grados de libertad. Según esta tabla solo la LE, el código del sexo y el período serían las variables que aportan a explicar el lugar de estudio.

Tabla 96: Estimaciones de parámetro en la regresión logística multinomial de los lugares.

Código del lugar ^a		B	Error estándar	Wald	Gl	Sig.	Exp(B)	95% de IC para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
1	Intersección	-23.112	1.353	291.667	1	0.000	-	-	-
	LE	0.074	0.020	13.392	1	0.000	1.077	1.035	1.121
	TL	0.019	0.015	1.562	1	0.211	1.019	0.989	1.050
	TB	-0.091	0.049	3.409	1	0.065	0.913	0.829	1.006
	TR	-0.516	0.163	10.035	1	0.002	0.597	0.434	0.821
	TBu	-0.281	0.062	20.619	1	0.000	0.755	0.669	0.852
	TM	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Código del sexo=1]	1.831	0.542	11.393	1	0.001	6.241	2.155	18.072
	[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Período=1]	1.072	5112.192	0.000	1	1.000	2.921	0.000	- ^c
	[Período=2]	19.029	0.477	1590.471	1	0.000	183818711.200	72149069.350	468326465.000
	[Período=3]	19.719	0.000	-	1	-	366269442.800	366269442.800	366269442.800
	[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
2	Intersección	-7.723	0.679	129.330	1	0.000	-	-	-
	LE	0.122	0.011	132.963	1	0.000	1.130	1.107	1.154
	TL	-0.032	0.008	17.133	1	0.000	0.968	0.954	0.983
	TB	0.075	0.020	14.201	1	0.000	1.078	1.036	1.120
	TR	-0.087	0.046	3.544	1	0.060	0.917	.837	1.004
	TBu	-0.086	0.023	14.129	1	0.000	0.917	0.877	0.960
	TM	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Código del sexo=1]	1.801	0.230	61.059	1	0.000	6.053	3.853	9.509
	[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Período=1]	1.457	0.307	22.497	1	0.000	4.294	2.352	7.842
	[Período=2]	-0.469	0.279	2.831	1	0.092	0.626	0.362	1.080
	[Período=3]	-0.301	0.256	1.377	1	0.241	0.740	0.448	1.223
	[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-

Anexo A

Código del lugar ^a		B	Error estándar	Wald	GI	Sig.	Exp(B)	95% de IC para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
3	Intersección	1.893	0.619	9.349	1	0.002	-	-	-
	LE	0.037	0.010	13.873	1	0.000	1.038	1.018	1.058
	TL	-0.014	0.008	3.116	1	0.078	0.986	0.971	1.002
	TB	-0.117	0.023	26.143	1	0.000	0.889	0.850	0.930
	TR	-0.219	0.047	21.402	1	0.000	0.803	0.732	0.882
	TBu	-0.199	0.023	72.016	1	0.000	0.819	0.782	0.858
	TM	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Código del sexo=1]	0.125	0.195	0.411	1	0.521	1.133	0.773	1.661
	[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Período=1]	0.803	0.304	6.989	1	0.008	2.233	1.231	4.052
	[Período=2]	-0.628	0.253	6.145	1	0.013	0.534	0.325	0.877
	[Período=3]	0.085	0.229	0.137	1	0.711	1.089	0.695	1.706
4	[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	Intersección	-5.050	0.604	69.806	1	0.000	-	-	-
	LE	0.111	0.010	125.778	1	0.000	1.118	1.096	1.139
	TL	-0.016	0.007	4.725	1	0.030	0.984	0.970	.998
	TB	-0.033	0.020	2.805	1	0.094	0.967	0.930	1.006
	TR	0.065	0.034	3.776	1	.052	1.068	0.999	1.140
	TBu	-0.183	0.022	66.736	1	0.000	0.833	0.797	0.870
	TM	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Código del sexo=1]	0.558	0.206	7.361	1	0.007	1.748	1.168	2.616
	[Código del sexo=2]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-
	[Período=1]	1.446	0.300	23.223	1	0.000	4.245	2.358	7.642
	[Período=2]	0.421	0.249	2.859	1	0.091	1.523	0.935	2.479
	[Período=3]	0.311	0.236	1.737	1	0.187	1.365	0.859	2.168
	[Período=4]	0 ^b	-	-	0	-	-	-	-

a. La categoría de referencia es: 5. b. Parámetro establecido en cero por ser redundante. c. desbordamiento de punto flotante al calcular este estadístico.

Tabla 97: Clasificación.

Observado	Pronosticado					Porcentaje correcto
	1	2	3	4	5	
1	2	4	8	7	5	7.7
2	0	154	35	79	26	52.4
3	0	20	153	54	73	51
4	0	66	71	177	47	49
5	0	25	71	47	149	51
Porcentaje global	0.2	21.1	26.6	28.6	23.6	49.9

Anexo A

Tabla 98: Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas.

Período	Rango	Logaritmo del determinante
1	5	17.664
2	5	19.678
3	5	19.691
4	5	18.630
Dentro de grupos combinados	5	19.225

Los logaritmos naturales y los rangos de determinantes impresos son los de las matrices de covarianzas de grupo.

Tabla 101: Funciones discriminantes canónicas y autovalores.

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	0.043 ^a	53.4	53.4	0.204
2	0.032 ^a	39.3	92.7	0.176
3	0.006 ^a	7.3	100.0	0.077

a. Se utilizaron las primeras 3 funciones discriminantes canónicas en el análisis. Los valores de autovalor cercanos a cero y la correlación débil indican que la función discriminante no permite distinguir e forma clara entre los grupos (períodos)

Tabla 104: Matriz de estructuras.

	Función		
	1	2	3
LE	0.738 [*]	0.048	0.022
TL	0.737 [*]	0.565	0.313
TM ^b	0.641	0.643 [*]	0.318
TB	0.005	0.642 [*]	0.110
TR	0.041	-0.172	0.899 [*]
TBu	0.262	0.075	-0.307 [*]

* Indica la mayor correlación absoluta entre variable y función discriminante. b. Esta variable no se utiliza en el análisis.

Tabla 99: Resultados de pruebas

M de Box		314.676
F	Aprox.	6.942
	GI1	45
	GI2	3297630.243
	Sig.	0.000

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

Tabla 100: Variables que fallan la prueba de tolerancia

	Varianza dentro de grupos	Tolerancia	Tolerancia mínima
TM	529.973	0.000	0.000

Todas las variables que pasan los criterios de tolerancia se especifican de forma simultánea. a. El nivel de tolerancia mínimo es 0.001.

Tabla 102: Lambda de Wilks.

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	X ²	GI	Sig.
1 a 3	0.923	99.186	15	0.000
2 a 3	0.963	46.454	8	0.000
3	0.994	7.398	3	0.060

Los altos valores de lambda señalan que hay solapamiento en los grupos, pero hay diferencias significativas entre las medias de cada variable discriminatoria.

Tabla 103: Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados.

	Función		
	1	2	3
LE	0.712	-0.899	-0.267
TL	0.624	0.771	0.323
TB	-0.646	0.843	0.012
TR	-0.126	-0.219	0.903
TBu	0.088	0.379	-0.298

Las variables más importantes en la función discriminante son LE < TL y TR

Tabla 105: Coeficientes de la función discriminante canónica.

Variables	Función		
	1	2	3
LE	0.044	-0.055	-0.016
TL	0.034	0.042	0.018
TB	-0.090	0.117	0.002
TR	-0.051	-0.088	0.362
TBu	0.019	0.082	-0.065
(Constante)	-2.955	0.021	0.080

No estandarizados

Tabla 106: Funciones en centroides de grupo.

Período	Función		
	1	2	3
1	0.127	-0.325	0.041
2	-0.314	-0.045	-0.078
3	-0.076	0.147	0.103
4	0.233	0.120	-0.066

Las funciones discriminantes canónicas sin estandarizar se han evaluado en medias de grupos

Anexo A

Tabla 107: Resumen de proceso de clasificación.

	Procesado	1250
	Códigos de grupo perdidos o fuera de rango	0
Excluido	Como mínimo, falta una variable discriminatoria	3
	Utilizado en resultado	1247

Tabla 108: Probabilidades previas para grupos.

Período	Previa	Casos utilizados en análisis	
		No ponderados	Ponderados
1	0.250	251	251.000
2	0.250	287	287.000
3	0.250	346	346.000
4	0.250	363	363.000
Total	1.000	1247	1247.000

Tabla 109: Coeficientes de función.

Variables	Período			
	1	2	3	4
LE	.271	.239	.235	.253
TL	-.040	-.045	-.026	-.019
TB	-.031	.041	.042	.011
TR	.220	.174	.211	.137
TBu	.269	.291	.300	.314
(Constante)	-11.181	-9.876	-10.525	-11.470

Funciones discriminantes lineales de Fisher

Tabla 110: Resultados de clasificación.

		Período	Período	Pertenencia a grupos pronosticada			
				1	2	3	4
Original	Recuento	1	251	110	63	32	46
		2	287	65	141	37	44
		3	346	93	110	68	75
		4	363	110	93	61	99
	%	1	100.0	43.8	25.1	12.7	18.3
		2	100.0	22.6	49.1	12.9	15.3
		3	100.0	26.9	31.8	19.7	21.7
		4	100.0	30.3	25.6	16.8	27.3
Validación cruzada ^b	Recuento	1	251	106	65	32	48
		2	287	66	138	39	44
		3	346	94	111	66	75
		4	363	111	93	64	95
	%	1	100.0	42.2	25.9	12.7	19.1
		2	100.0	23.0	48.1	13.6	15.3
		3	100.0	27.2	32.1	19.1	21.7
		4	100.0	30.6	25.6	17.6	26.2

a. 33.5% de casos agrupados originales clasificados correctamente.

b. La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso.

c. 32.5% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

Anexo A

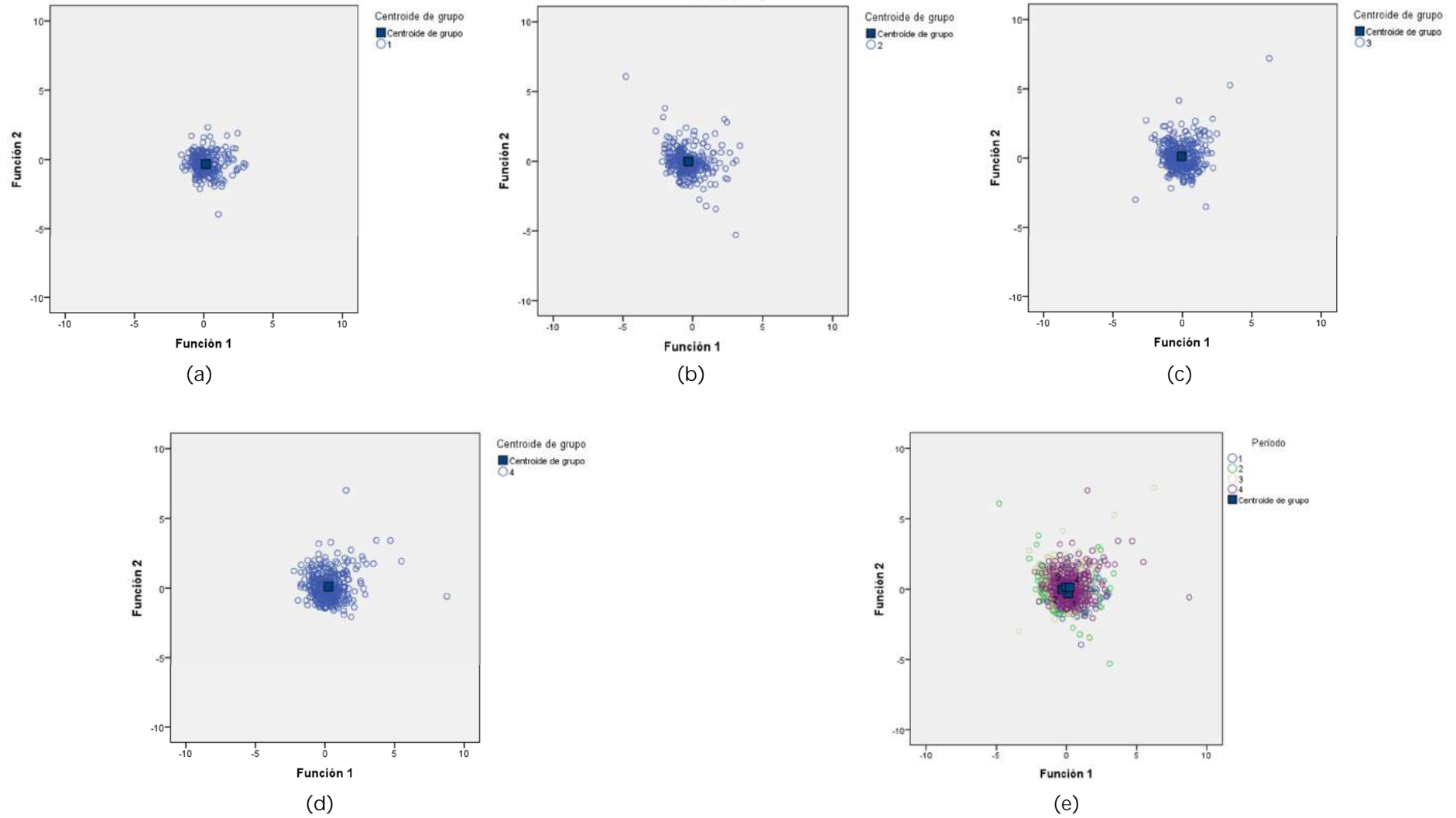


Figura 39: Función discriminante canónica (a) Período 1 (b) Período 2 (c) Período 3 (d) Período 4 (e) Superposición de los períodos hidrológicos.